

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2010

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

Schriften

Claudia Bernhard-Ströl

Ralph Gödde

Claudia Hachenberger

Angelika Löbke-Reinl

Annemarie Schmitt-Hannig



Bundesamt für Strahlenschutz

BFS-SCHR-49/11

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

urn:nbn:de:0221-201111236640

Zur Beachtung:

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

Salzgitter, November 2011

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2010

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

Schriften

Claudia Bernhard-Ströl

Ralph Gödde

Claudia Hachenberger

Angelika Löbke-Reinl

Annemarie Schmitt-Hannig

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	VII
VORBEMERKUNG	VII
EINFÜHRUNG	VII
ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE 2010	VIII
SUMMARY	XV
PREFACE	XV
INTRODUCTION	XV
SUMMARY OF RESULTS FROM RECENT RESEARCH PROJECTS	XVI
CONTENT	XXII

ERGEBNISSE

DER VOM BFS BEGLEITETEN STRAHLENSCHUTZ-FORSCHUNGSVORHABEN DES BMU IM JAHR 2010

THEMENBEREICH 01

NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Strahlenbedingtes Tumorrisiko beim Flugpersonal - Durchführung und Analyse eines zweiten Follow-up .. 2
3607S04548

Recherche zu Art, Aufkommen und Eigenschaften von NORM-Rückständen im Ausland,
Abschätzung der Strahlenexposition der Bevölkerung bei der Deponierung bzw. Verwertung 7
3608S01001

Untersuchungen zu singulären Radonfreisetzungen aus bergbaulichen Hinterlassenschaften und ihre
Auswirkungen auf die Radonkonzentration im Freien 13
3609S10005

THEMENBEREICH 02

STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Retrospektive Dosimetrie in Notfallsituationen für die Bevölkerung 22
3607S04560

THEMENBEREICH 04

MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Konzepte zur Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm .. 30
3609S40004

Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren 36
3608S04003

Ermittlung der effektiven Dosis bei DVT-Geräten im Verhältnis zu einer Messgröße 42
3609S40003

THEMENBEREICH 05

RADIOÖKOLOGIE

Untersuchungen zur Auslaugbarkeit langlebiger Radionuklide aus Bauschutt	46
3608S04571	

THEMENBEREICH 06

NOTFALLSCHUTZ

Aus- und Weiterbildung von Ärzten im Strahlenunfallmanagement	52
3607S04541	

Quelltermprognosen als Eingabedaten für das Entscheidungshilfesystem RODOS bei Ereignissen im Nichtleistungsbetrieb	58
3608S04568	

Erstellung eines Handbuches zum behördlichen Krisenmanagement bei einem Ereignis in einer kerntechnischen Anlage - elektronische Datengenerierung und Übertragung im Rahmen der ECURIE- und EMERCON-Meldeverpflichtungen	61
3608S06007	

Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS für Ereignisse im Leistungsbetrieb	64
3609S60009	

THEMENBEREICH 07

VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Untersuchung umweltbedingter genetischer Veränderungen im Zusammenhang mit der Entstehung von Leukämien im Kindesalter	70
3609S30013	

Gesundheitsökonomische Betrachtung zu Radonsanierungsmaßnahmen	74
3609S10007	

THEMENBEREICH 08

NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Systematische Erfassung aller Quellen nichtionisierender Strahlung, die einen relevanten Beitrag zur Exposition der Bevölkerung liefern können	84
3609S80004	

Bestimmung der individuellen UV-Exposition in Abhängigkeit von Lebensstil und aktuellem UV-Index	91
3608S03012	

Laiengerechte Kommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten im Bereich EMF	98
3608S03016	

Weiterentwicklung der EMF-Literaturdatenbank	102
3607S04527	

THEMENBEREICH 09

DEUTSCHES MOBILFUNK FORSCHUNGSPROGRAMM

Einfluss von GSM-Signalen auf isoliertes, menschliches Blut. A. Gentoxizität	110
--	-----

STATUSBERICHTE DER VOM BFS BEGLEITETEN STRAHLENSCHUTZ-FORSCHUNGSVORHABEN DES BMU

THEMENBEREICH 01 NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Aufbau einer Bioproben-Bank von ehemaligen Beschäftigten der SAG / SDAG Wismut - Pilotstudie 3607S04532	116
Drittes Mortalitäts-Follow-Up der Kohorte von ca. 64.000 ehemaligen Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2008 3608S01005	118
Untersuchungen der Ortsdosisleistung in Flugzeugen unter Berücksichtigung des Sonnenzyklus, der Lageveränderung der magnetischen Pole und der Auswirkung von solaren Ereignissen zur Qualitätssicherung der Dosisermittlung für das fliegende Personal 3608S10003	120
Erarbeitung fachlicher Grundlagen zur Beurteilung der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messmethoden zur Bestimmung der Radonbodenluftkonzentration 3609S10003	122
Fortführung und technische Betreuung der Internetplattform zum europäischen Netzwerk für natürlicherweise auftretende radioaktive Materialien (NORM) Datenbank 3609S10006	124

THEMENBEREICH 02 STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Verbesserung der Inhalationsdosimetrie bei Exposition mit radioaktiv kontaminierten Aerosolen 3608S04544	128
Entwicklung von Verfahren zur zerstörungsfreien Qualitätskontrolle von Prüfkörpern, die im Rahmen von Prüfungen zur Qualitätssicherung nach §16 Abs. 2 und 3 der Röntgenverordnung von Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung von Menschen verwendet werden 3608S20001	131
Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG, standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente und nichtkerntechnischen Einrichtungen nach StrlSchV und RöV 3609S20001	134

THEMENBEREICH 03 STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER STRAHLUNG, STRAHLENEMPFINDLICHKEIT

Funktionelle Analyse molekularer Mechanismen der strahleninduzierten Apoptose, die nicht über direkte DNA-Schäden vermittelt werden 3607S04531	140
Nachweis von strahleninduzierten Genveränderungen in Brusttumoren für eine verbesserte Abschätzung des durch ionisierende Strahlung verursachten Brustkrebsrisikos 3608S03004	143
Auswirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf die Entstehung und den Verlauf von neurodegenerativen Erkrankungen im experimentellen Modell 3608S03008	146
Machbarkeitsstudie für eine epidemiologische Studie zur Untersuchung des Zusammenhangs von Strahlenexposition und einer Katarakterkrankung 3609S30004	149

3D / 4D Architektur von chromosomalen Bruchpunktregionen in Zellkernen nach Bestrahlung von Normalzellen und Tumorzellen	152
3610S30015	
Beschreibung der Schadensmechanismen durch Auger-Emitter auf zellulärer Ebene und Entwicklung von neuen Strahlenschutzkonzepten unter Berücksichtigung der Abhängigkeit des Strahlenrisikos von der Dosisleistung	156
3608S03002	
Entwicklung strahleninduzierter DNA-Schäden während der S-Phase des Zellzyklus	160
3610S30016	
THEMENBEREICH 04	
MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG	
Machbarkeitsstudie zur Erhebung der medizinischen Strahlenexposition in der Helmholtzkohorte	166
3610S40001	
Medizinphysikalische Optimierung und Risikobewertung diagnostischer und therapeutischer Strahlenanwendungen	168
3608S04001	
Erstellung von nationalen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie	171
3608S04575	
Erstellung von hybriden Voxelmodellen zur Optimierung von Bildqualität und Dosis in der Radiographie	175
3609S40002	
THEMENBEREICH 05	
RADIOÖKOLOGIE	
Erweiterung und Validierung von ARTM für den Einsatz als Ausbreitungsmodell in AVV und SBG	180
3608S05005	
Bundesweiter Überblick über die Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen	184
3607S04561	
Vergleichende Betrachtung der probabilistischen/stochastischen und deterministischen Modellierung von Expositionen im Hinblick auf die Belastbarkeit des Modellergebnisses und die Anforderung an die Qualität der Eingangsdaten	187
3609S50002	
Fachliche Unterstützung des BfS bei der Erstellung von Referenzbiosphärenmodellen für den radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern - Biosphären-Szenarioanalyse für potenzielle Endlagerstandorte	190
3609S50004	
Fachliche Unterstützung des BfS bei der Erstellung von Referenzbiosphärenmodellen für den radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern - Modellierung des Radionuklidtransports in Biosphärenobjekten	192
3609S50005	
THEMENBEREICH 06	
NOTFALLSCHUTZ	
Nutzung von Geräten in nuklearmedizinischen Einrichtungen bei radiologischen Notfallsituationen mit hohen bis sehr hohen Körperaktivitäten im Rahmen des REMPAN-Netzwerkes	196
3609S60012	

THEMENBEREICH 07

VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Experimentelle Bestimmung von Resuspensionsraten partikelgebundener radioaktiver Stoffe von relevanten kontaminierten Oberflächen bei radiologischen Notfällen zur Beurteilung einer Exposition von Einsatzpersonal und betroffenen Personen durch Resuspension radioaktiver Partikel 202 3609S70005	202
Quantitative Abschätzung des Strahlenrisikos unter Beachtung individueller Expositionsszenarien - Neufassung der Strahlenepidemiologischen Tabellen 205 3607S04570	205
Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) 208 3608S07005	208
Systematische Untersuchung der Exposition von Flora und Fauna bei Einhaltung der Grenzwerte der StriSchV für den Menschen 211 3609S70006	211

THEMENBEREICH 08

NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf menschliche Fibroblasten (Gentoxizität) 214 3607S04504	214
Gentoxische Effekte von Terahertz-Strahlung in vitro 216 3607S04533	216
Einfluss niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf das sich entwickelnde blutbildende System, das Immunsystem und das ZNS in vivo 219 3608S03006	219
Auswirkungen der Exposition mit starken statischen Magnetfeldern auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Probanden 222 3608S03009	222
Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT auf die Endpunkte Fortpflanzung und Entwicklung im Tiermodell 225 3608S04557	225
Erweiterungsstudie zu multinationaler Fall-Kontroll-Studie zu Hirntumoren durch Radiofrequenzstrahlung bei Kindern und jungen Erwachsenen (MOBI-KIDS) 228 3609S30010	228
Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio Frequency Identification (RFID) Technologien entstehen 231 3609S80002	231
UV-abhängige Vitamin-D-Synthese - Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin-D3-Bedarfes im menschlichen Körper 234 3607S04538	234
Untersuchungen zu den Mechanismen für die Wirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf das genetische Material und die Signaltransduktion 238 3607S04556	238
Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT während der Embryonalentwicklung auf kognitives und emotionales Verhalten bei Mäusen 241 3609S30014	241

**THEMENBEREICH 09
DEUTSCHES MOBILFUNK FORSCHUNGSPROGRAMM II**

Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf
Entwicklungs- und Differenzierungsprozesse des Zentralnervensystems in juvenilen Labornagern 244

IM JAHR 2010 BEGONNENE FORSCHUNGSVORHABEN 247

Analyse epigenetischer Effekte (microRNAs) in ehemaligen Wismutbeschäftigten 248
3610S10001

Sonderauswertung zu Wismut 248
3610S10002

Dosimetrie mit elektronischen Dosimetern in gepulsten Photonen-Strahlungsfeldern / Teil 2 249
3610S20001

Risiko für angeborene Entwicklungsfelddefekte bei Kindern von Mitarbeiterinnen im medizinisch-
diagnostischen Bereich, die im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit mit ionisierender Strahlung arbeiten 250
3610S40004

Weiterentwicklung des elektronischen Meldeverfahrens im radiologisch relevanten Ereignisfall
unter Berücksichtigung der Anforderungen im Rahmen internationaler Meldeverpflichtungen
(ECURIE/ EMERCON) 250
3610S60002

Generalisierte Konzepte für Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei nuklearen und
radiologischen Notfällen 251
3610S60014

Abschätzung des Krebsrisikos nach akuter Strahlenexposition durch Analysen der Daten für die
Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki 252
3610S04551

Kontaktadressen 253

ZUSAMMENFASSUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) vergibt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Forschungsvorhaben auf dem Gebiet des Strahlenschutzes. Die Ergebnisse dieser Vorhaben dienen als Entscheidungshilfen bei der Erarbeitung von Strahlenschutzvorschriften und bei der Erfüllung sonstiger Fachaufgaben im Bereich Strahlenschutz. Die Planung, fachliche und administrative Vorbereitung, Vergabe, Begleitung sowie die fachliche Bewertung der Ergebnisse der Untersuchungsvorhaben ist grundsätzlich Aufgabe des Bundesamtes für Strahlenschutz. Der vorliegende Bericht informiert über die Ergebnisse bzw. Zwischenergebnisse (in Form von Statusberichten) von Strahlenschutzvorhaben des BMU-Umweltforschungsplans im Jahr 2010.

VORBEMERKUNG

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

EINFÜHRUNG

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

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

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

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

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

Schwerpunkt der Untersuchungen ist die **medizinische Strahlenexposition** durch Diagnosemethoden, da diese die zivilisatorische Strahlenexposition der Bundesbürger zum überwiegenden Teil bestimmt. Hier kommt es vor allem darauf an, Nutzen und Risiken von Untersuchungsverfahren abzuwägen, nach risikoärmeren Alternativverfahren zu suchen und die Strahlenexposition durch geeignete Verfahren zu reduzieren.

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

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

Erfahrungen aus der Katastrophe in Fukushima im Frühjahr 2011 sind in diesen Bericht noch nicht eingeflossen. Das Vorhaben „Evaluation der Krisenkommunikation im radiologischen Notfall am Beispiel von Fukushima“ wurde aber bereits 2011 nachträglich in den UFOPLAN aufgenommen. Gegenwärtig befindet sich das Vorhaben in der fachlichen Vorbereitung. Darauf aufbauend, soll in 2012 das Vorhaben „Untersuchungen zur Verbesserung der Krisenkommunikation im radiologischen Notfall unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus der Reaktorkatastrophe von Fukushima“ vergeben werden.

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 2010

Im Folgenden wird über die Ergebnisse ausgewählter, in 2010 abgeschlossener Forschungsvorhaben berichtet:

THEMENBEREICH 01 - NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Das Vorhaben „**Strahlenbedingtes Tumorrisiko beim Flugpersonal - Durchführung und Analyse eines zweiten Follow-up (3607S04548)**“ untersucht die Mortalität des Flugpersonals in einer weltweit einzigartigen gepoolten Kohorte und ist daher eine wichtige Informationsquelle zur Gesundheit dieser beruflichen Gruppe. In dieser neuen Auswertung mit verlängertem Follow-up und größeren Fallzahlen beobachten wir das gleiche Sterblichkeitsmuster wie bei der ersten Auswertung. Die Ergebnisse bestätigen das vergleichsweise niedrige Gesamtsterberisiko dieser Beschäftigtengruppe. Die niedrige Mortalität bei Cockpitcrew und Flugbegleiterinnen ist weiterhin zu einem erheblichen Teil auf den „Healthy Worker Effect“ zurückzuführen. Das Sterberisiko für maligne Melanome und Prostatakarzinome beim Cockpitpersonal sowie die Sterblichkeit an Brustkrebs beim weiblichen Kabinenpersonal sind in der deutschen Kohorte den neuen Ergebnissen zufolge statistisch nicht signifikant erhöht. In den dosisbezogenen Auswertungen der deutschen Cockpitpersonalkohorte finden sich zudem nicht signifikante statistische Assoziationen zwischen Krebsmortalität und Strahlendosis, die aber auf Grund von möglichen Verzerrungen schwer zu beurteilen sind.

Im Vorhaben „**Gesundheitsökonomische Betrachtung zu Radonsanierungsmaßnahmen (3609S10007)**“ wird erstmals eine regional differenzierte Kosteneffektivitätsanalyse (KEA) baulicher Interventionsmaßnahmen zur Minderung der Radonbelastung in deutschen Wohnhäusern durchgeführt. Die KEA erfolgt als Szenarioanalyse mittels entscheidungstheoretischer Modellierungen. Es zeigt sich, dass die höchste Kosteneffektivität auf allen regionalen Ebenen bei universellem Screening und obligatorischer Sanierung existierender Wohnhäuser ab einem Grenzwert von 100 Bq/m^3 Innenraumluft erreicht werden kann. Bei der deutschlandweiten Umsetzung könnten so ~ 9.100 Lungenkrebsfälle über den gesamten Beobachtungszeitraum (40 Jahre) verhindert werden. Das Kosteneffektivitätsverhältnis beträgt dabei 25.181 € (95%-KI 7.371 - 90.593 €) je qualitätsadjustiertes Lebensjahr (QALY). Das Spektrum der Ergebnisse kleinräumiger Analysen reicht jedoch von ca. 12.000 € bis zu mehreren Hundert Millionen €/QALY. Freiwillige Radoninterventionen sowie der radonsichere Neubau weisen dagegen ein deutlich schlechteres Kosteneffektivitätsverhältnis auf. Regionalisierte Auswertungen zeigen darüber hinaus, dass auch andere heterogen verteilte Faktoren (z. B. weitere Noxen, Bevölkerungs-/Baustruktur) wesentliche Determinanten der regionalen Ergebnisvariabilität darstellen.

Das Vorhaben „**Recherche zu Art, Aufkommen und Eigenschaften von NORM-Rückständen im Ausland, Abschätzung der Strahlenexposition der Bevölkerung bei der Deponierung bzw. Verwertung (3608S01001)**“ beinhaltet eine auf Grundlage der deutschen Stoffliste durchgeführte Inventarisierung der im Ausland anfallenden Rückstände und stellt eine entsprechende fortschreibungsfähige Stoffdatenbank vor. Vor dem Hintergrund einer wachsenden Zahl grenzüberschreitender Transporte von Rest- und Abfallstoffen gilt es, durch harmonisierte Kontrollen in den Mitgliedsstaaten einen sicheren und funktionierenden europäischen Binnenmarkt zu gewährleisten. Die in Bearbeitung befindliche Novellierung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) sieht im Teil 3 Kapitel 3 notwendige Erweiterungen des Regelungsbereiches auf im Ausland anfallende und zum Zwecke ihrer Verwertung oder Deponierung nach Deutschland eingeführte Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) vor. Die Präzisierung der Regelungen setzt umfassende Kenntnisse über Art, Mengen und Eigenschaften von NORM in den EU-Mitgliedsstaaten voraus. Unter Berücksichtigung abfallrechtlicher Vorgaben wurde eine Abschätzung der Strahlenexposition von Personen der Bevölkerung und Arbeitnehmern bei Deponierung oder Verwertung von NORM durchgeführt.

Im Rahmen des Vorhabens „**Untersuchungen zu singulären Radonfreisetzungen aus bergbaulichen Hinterlassenschaften und ihre Auswirkungen auf die Radonkonzentration im Freien (3609S10005)**“ wurden an zwei Halden des Uranbergbaus im Raum Johanngeorgenstadt Messungen einerseits zur Bestimmung der konvektiv dominierten Radonfreisetzung in die Atmosphäre, andererseits zur Charakterisierung der Radonausbreitung infolge von nächtlichen Kaltluftabflüssen durchgeführt. Auf Grund der bekannten abwärts gerichteten Konvektion in den Halden zeigten die Messergebnisse allgemein starke Radonexhalationen am Haldenfuß. Kaltluftabflüsse wurden durch zeitlich begrenzte extreme Radonkonzentrationen (bis zu 20 kBq/m^3 Rn-222 in ca. 150 m Entfernung vom Haldenfuß) im Abstrombereich der Halden nachgewiesen, die in den Abend- und Nachtstunden auftraten. Die Kaltluftabflüsse konnten mit Zeiträumen fallender Lufttemperaturen sowie Temperaturschichtung mit kälteren bodennahen Luftschichten korreliert werden. Mit den gemessenen Werten wurden Untersuchungen zur Modellierung der bestimmenden physikalischen Prozesse „Halde als Radonquelle“ mit konvektiver Radonfreisetzung und „Transport des freigesetzten Radons innerhalb von Kaltluftabflüssen“ im Abstrom durchgeführt. Für eine Methodik zur Prognose von Radonexhalation und -ausbreitung auch für weitere Standorte bzw. Objekte wurde ein entsprechender Vorschlag erarbeitet. Im Rahmen des Projektes konnte das konzeptionelle Verständnis zu den für die beobachteten hohen Radonaktivitätskonzentrationen verantwortlichen Prozessen erheblich verbessert werden.

THEMENBEREICH 02 - STRAHLENSCHUTZTECHNIK

In dem Vorhaben „**Retrospektive Dosimetrie in Notfallsituationen für die Bevölkerung (3607S04560)**“ wurden bestimmte Vergussmassen von Chipkarten, die als EC-, Kredit, Krankenkassen- und SIM-Karten vorkommen, sowie elektronische Komponenten in tragbaren elektronischen Geräten als Materialien ermittelt, die für die Rekonstruktion von individuellen Strahlenexpositionen in radiologischen Notfällen geeignet sind. Mit den entwickelten Messverfahren können individuelle Dosiswerte innerhalb eines Tages ermittelt werden, mit Nachweisgrenzen von 10 - 20 mGy bis zu 10 Tage nach Exposition. Allen Materialien gemein ist ein lineares Dosiswachstum bis ca. 10 Gy, sowie eine Langzeitstabilität des Lumineszenzsignals bei Lagerung bei Raumtemperatur. Dies bedeutet, dass der Zeitpunkt der Exposition bekannt sein muss, um mit den in dem Vorhaben bestimmten Fadingkurven eine Signalkorrektur durchführen zu können. Es wurde weiterhin ein wartungsfreier Lumineszenz-Detektor auf BeO-Basis entwickelt, mit hoher Empfindlichkeit und geringer Photonenenergieabhängigkeit. Es wurden zwei Berechnungsmethoden entwickelt, um für zwei verschiedene Fälle aus den lokalen Dosismessungen eine Karte der Kontamination bzw. der effektiven Dosis zu erhalten.

THEMENBEREICH 04 - MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Die gesetzlichen Krankenkassen bieten allen Frauen zwischen 50 und 69 Jahren ein flächendeckendes und qualitätsgesichertes Programm zur Früherkennung von Brustkrebs - das so genannte Mammographie-Screening-Programm (MSP) - an. Das übergeordnete Ziel eines MSP ist die nachhaltige Verringerung der Brustkrebssterblichkeit, die aber erst mehrere Jahre nach Einführung des MSP sichtbar werden kann. Zielsetzung des Vorhabens „**Konzepte zur Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm (3609S40004)**“ war die Entwicklung von möglichen Konzepten zur Evaluation der Brustkrebsmortalität, die speziell für das Deutsche MSP geeignet sind. Zur Aufbereitung des Forschungsstands wurde in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet „Management im Gesundheitswesen“ der TU Berlin ein Systematisches Review (SR) der internationalen Evaluationskonzepte durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen des SR wurden alle theoretisch denkbaren Konzepte in Betracht gezogen, wobei folgende Aspekte berücksichtigt wurden: Studiendesign, Datenquellen, Fallzahlkalkulation, Auswertungsplan, Maßnahmen zur Kontrolle relevanter Biasarten (z. B. Lead-Time-Bias, Over-Diagnosis-Bias, Length-Time-Bias) und Maßnahmen zur Berücksichtigung der Screening-Historie und weiterer Einflussfaktoren. Neben der detaillierten Darstellung der Konzepte wurden mehrere Empfehlungen zur Durchführung der Mortalitätsevaluation abgegeben. Die Konzepte und Empfehlungen wurden auf einem Fachgespräch vorgestellt und diskutiert.

Im Rahmen des Vorhabens „**Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren (3608S04003)**“ wurde die Häufigkeit und resultierende Strahlenexposition nuklearmedizinischer Untersuchungen für die Kalenderjahre 2007 und 2008 erhoben und analysiert. Die Analyse basiert auf den Daten einer Stichprobe von 25 Kliniken und 23 Praxen. Es ist zu erkennen, dass sich die Zusammensetzung an untersuchten Organsystemen im Vergleich zu einer Studie mit ähnlicher Zielstellung aus dem Zeitraum 1996 bis 2000 deutlich geändert hat. Besonders die Häufigkeit von Untersuchungen der Lunge und Niere nahm im ambulanten Bereich ab. Die im Zusammenhang mit Untersuchungen applizierte Aktivität weicht im betrachteten Zeitraum noch deutlich von den als Richtwerten vorgesehenen diagnostischen Referenzwerten ab, die in 2003 veröffentlicht wurden. Bei Untersuchungen an Kindern wird im Mittel eine bezogen auf Untersuchungen von Erwachsenen anteilige Aktivität appliziert, die den Empfehlungen der EANM folgt. In einzelnen Einrichtungen weicht das Vorgehen dabei immer noch um teilweise mehr als einen Faktor zwei von der Empfehlung ab. Die Daten deuten darauf hin, dass nuklearmedizinische Einrichtungen mit teilweise deutlich unterschiedlicher physikalischer Bildqualität arbeiten. Die Daten lassen erkennen, wie stark die Beeinflussung durch die Mo / Tc-Nuklidknappheit im zweiten Halbjahr 2008 war und wie verschiedene nuklearmedizinische Einrichtungen flexibel auf die bestehende Herausforderung reagiert haben.

Ziel des Vorhabens „**Ermittlung der effektiven Dosis bei DVT-Geräten im Verhältnis zu einer Messgröße (3609S40003)**“ war die Erfassung von Häufigkeitskennziffern von dentalen DVT-Systemen sowie die Ermittlung der assoziierten Strahlenexposition der Patienten. Die administrativen Daten wurden hierbei von den jeweils zuständigen Zahnärztlichen Stellen abgerufen. Die Untersuchungsfrequenz wurde exemplarisch aus den Daten eines Bundeslandes ermittelt und auf Deutschland extrapoliert. Die Ermittlung der effektiven Dosen erfolgte durch die Exposition von Thermolumineszenzdosimetern in einem anthropomorphen Kopfphantom bzw. Rando-Phantom. Gleichzeitig wurden die zugehörigen Dosisflächenprodukt-Werte erfasst. Ziel dabei war die mögliche Ermittlung von gerätespezifischen Konversions-Koeffizienten zwischen beiden Dosisgrößen. In der vorliegenden Studie wurden Dosisflächenprodukte von etwa 0,1 bis 550 $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$ und effektive Dosen von 17 bis 396 μSv ermittelt.

THEMENBEREICH 05 - RADIOÖKOLOGIE

Ziel dieses Vorhabens „**Untersuchungen zur Auslaugbarkeit langlebiger Radionuklide aus Bauschutt (3608S04571)**“ war es, ein realitätsnahes, abgesichertes Modell zur Beschreibung der Auslaugbarkeit von langlebigen Radionukliden aus Bauschutt, der beim Rückbau von Kernkraftwerken anfällt und auf Oberflächendeponien abgelagert wird, zu erstellen. Dafür wurden experimentelle und modelltheoretische Untersuchungen zur Auslaugung von U, Th, Ra und I aus Bauschutt durchgeführt. In großmaßstäblichen Perkolationsversuchen wurden drei unterschiedliche Baumaterialien vorgegebener Zusammensetzung, Kontamination und Korngröße in 200-Liter-Fässern in Anlehnung an die Niederschlagsbedingungen in Norddeutschland beregnet. Unter diesen Bedingungen wurde der Radionuklidaustrag gemessen und mit Ergebnissen von Modellrechnungen verglichen. Parallel dazu wurde auch die Mobilisierung der Radionuklide unter Gleichgewichtsbedingungen experimentell bestimmt und mittels geochemischer Gleichgewichtsmodellierung nachgerechnet. Weiterhin wurden Kd-Werte der o. g. Nuklide am Bauschutt bestimmt und mit Literaturdaten für Baustoffe und Böden verglichen.

THEMENBEREICH 06 - NOTFALLSCHUTZ

Das Forschungsvorhaben „**Aus- und Weiterbildung von Ärzten im Strahlenunfallmanagement (3607S04541)**“ beinhaltet die Entwicklung, Erprobung und Evaluation eines Curriculums für die Aus- und Weiterbildung von Ärzten im präklinischen Strahlenunfallmanagement und die Erstellung eines Mustercurriculums. Ziele waren Aufbau, Erhalt und Erweiterung der ärztlichen Kompetenz für die präklinische Versorgung von Strahlenunfallpatienten. Damit sollte ein wesentlicher Beitrag zur Qualifizierung von Notärzten für die Herausforderung durch Einsatzlagen mit radiologischen und nuklearen Gefährdungen geleistet werden. Entwicklung und Inhalte des Curriculums für die Aus- und Weiterbildung von Ärzten im präklinischen Strahlenunfallmanagement werden dargestellt. Die Durchführung und Erprobung des Curriculums in zwei Pilotkursen 2009 und 2010, an denen insgesamt 40 Ärzte teilnahmen, werden beschrieben. Der erfolgreiche Test in den Pilotkursen belegt den Nutzen des entwickelten Curriculums. Kurse nach dem erstellten Mustercurriculum und den entsprechenden Musterfolien können eigenständig durchgeführt werden; darüber hinaus können einzelne Module in bestehende Aus- und Weiterbildungen integriert werden. Für die Implementierung und Anerkennung des Curriculums wurden Vorschläge gemacht.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „**Quelltermprognosen als Eingabedaten für das Entscheidungshilfesystem RODOS bei Ereignissen im Nichtleistungsbetrieb (3608S04568)**“ wurden sowohl für ein SWR- als auch ein DWR-Kernkraftwerk für den Nichtleistungsbetrieb Unfallablaufszenarien ermittelt, bei denen es zu einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umgebung kommen kann. Auf Basis von Freisetzungsberechnungen, die bei probabilistischen Sicherheitsanalysen der Stufe 2 zum Leistungsbetrieb durchgeführt wurden, wurden Quellterme für die Unfallabläufe im Nichtleistungsbetrieb konservativ abgeschätzt. Die daraus resultierenden radiologischen Konsequenzen in der Anlagenumgebung wurden ermittelt und mit den radiologischen Konsequenzen vergleichbarer Unfallabläufe im Leistungsbetrieb verglichen. Abschließend wurden Quellterme für Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb für die Aufnahme in die Quelltermdatenbank von RODOS vorgeschlagen. Als Auswahlkriterium wurden sowohl die radiologischen Auswirkungen als auch die Kernschadenshäufigkeit zu Grunde gelegt.

Die Einführung bundeseinheitlicher Standards für das Meldeverfahren kann auf der Basis von Ergebnissen des Vorhabens „**Erstellung eines Handbuchs zum behördlichen Krisenmanagement bei einem Ereignis in einer kerntechnischen Anlage - elektronische Datengenerierung und Übertragung im Rahmen der ECURIE- und EMERCONMeldeverpflichtungen (3608S06007)**“ ermöglicht werden. Die zuverlässige und rechtzeitige Übermittlung der erforderlichen Informationen ist für die zuständigen Behörden eine wichtige Grundlage für die Bewertung der radiologischen Lage in der Umgebung eines KKW und so für die zeitnahe Realisierung angemessener Schutzmassnahmen erforderlich. Eine Optimierung bestehender Meldeverfahren auf elektronischem Wege ist möglich und nötig. Dies trägt zur Erhöhung der Effizienz der behördlichen Entscheidungen zum Bevölkerungsschutz in einem radiologisch relevanten Ereignisfall in einer kerntechnischen Anlage.

Ziel des Forschungsvorhabens „**Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS für Ereignisse im Leistungsbetrieb (3609S60009)**“ war die Anpassung der Quellterme für die Notfallschutzplanung entsprechend dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik sowie die Bereitstellung für die RODOS-Quelltermbibliothek. Entscheidungshilfesysteme wie z. B. RODOS haben zum Ziel, die zuständigen Behörden im Falle eines Ereignisses in einer kerntechnischen Anlage mit Aussagen zu den möglichen radiologischen Auswirkungen einer Freisetzung radioaktiver Stoffe zu unterstützen. Als Grundlage hierfür ist u. a. auch die Bereitstellung von typischen unfallbedingten Quelltermen in der RODOS-Bibliothek vorgesehen. Mit der hier vorgeschlagenen Aktualisierung schließt die Quelltermbibliothek an den aktuellen Stand der Unfallanalysen für den Leistungsbetrieb der an. Es zeigt sich, dass einige der Quellterme mit dem derzeitigen Notfallschutzkonzept nicht vollständig beherrscht werden können. Empfehlungen zur weiteren Komplettierung der Quelltermbibliothek werden begründet.

THEMENBEREICH 07 - VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Die akute lymphatische Leukämie (ALL) ist eine bösartige Erkrankung der weißen Blutkörperchen, bei der sich frühe lymphoide Vorläuferzellen unkontrolliert klonal vermehren. Im Rahmen der genomweiten Assoziationsstudie „**Untersuchung umweltbedingter genetischer Veränderungen im Zusammenhang mit der Entstehung von Leukämien im Kindesalter (3609S30013)**“ wurden 355.750 Einzelnukleotid-Polymorphismen (SNP) in 419 Patienten mit einem der häufigsten Subtypen einer ALL - gekennzeichnet durch die chro-

mosomale Translokation t(12;21)(p13;q22), die zu einer ETV6-RUNX1-Genfusion führt - sowie in 474 gesunden Kontrollen analysiert. Die 100 am stärksten mit dem Leukämierisiko assoziierten SNPs wurden in 693 ETV6-RUNX1-positiven Leukämiefällen und 2.261 Kontrollen, bestehend aus zwei unabhängigen Gruppen aus Deutschland / Österreich und Italien, im Rahmen einer Replikationsanalyse typisiert. In diesen Untersuchungen wurden zwei neue Risikogenorte identifiziert. Die separate Analyse der kombinierten deutsch / österreichischen Proben offenbarte weitere genomweite signifikante Assoziationen mit dem Erkrankungsrisiko. Die erzielten Ergebnisse zeigen erstmalig, dass es neben allgemeinen genetischen Risikoassoziationen für die ALL auch für ALL-Subgruppen spezifische Risikogenorte gibt.

THEMENBEREICH 08 - NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Im Forschungsvorhaben „**Systematische Erfassung aller Quellen nichtionisierender Strahlung, die einen relevanten Beitrag zur Exposition der Bevölkerung liefern können (3609S80004)**“ wurden alle künstliche Quellen nichtionisierender Strahlung (elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder in einem Frequenzbereich von 0 Hertz bis 300 Gigahertz sowie optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 Nanometer bis 1 Millimeter) systematisch identifiziert und anschließend anhand von verschiedenen Kriterien, die aus den bekannten Wirkungsmechanismen nichtionisierender Strahlung, den daraus abgeleiteten internationalen und nationalen Grenzwertempfehlungen sowie aus allgemeinen Grundsätzen des Strahlen- und Umweltschutzes abgeleitet wurden, bewertet. Diesen Kriterien wurden in einem Bewertungsschema Punkte zugeordnet. Die auf diese Weise erreichte Punktzahl einer jeden Quelle repräsentiert die Relevanz ihres möglichen Beitrags zur Exposition von Personen der allgemeinen Bevölkerung.

Zur Bestimmung der täglichen und der (kumulativen) saisonalen Exposition mit erythemwirksamer solarer UV-Strahlung in Abhängigkeit des Lebensstils und des aktuellen UV-Indexes wurden im Forschungsvorhaben „**Bestimmung der individuellen UV-Exposition in Abhängigkeit von Lebensstil und aktuellem UV-Index (3608S03012)**“ individuelle Daten, die für die UV-Exposition und deren gesundheitlicher Bewertung ausschlaggebend sind, von Erwachsenen, Senioren und Kindern in Kindergärten und Grundschule mittels Fragebögen ermittelt. Die individuelle UV-Exposition wurde unter Zuhilfenahme der für die Region Berlin im Rahmen des in Deutschland existierenden UV-Monitorings ermittelten Messwerte der erythemwirksamen solaren UV-Einstrahlung berechnet bzw. abgeschätzt. Zur Bewertung der solaren UV-Exposition in Abhängigkeit der individuell gegebenen Außenaktivität wurden der extensive (e) und der intensive Nutzungsgrad (i) definiert, mit deren Hilfe eine Klassifizierung der Probanden vorgenommen werden konnte. Die Verifizierung der berechneten Expositionsdaten erfolgte durch Vergleich mit den Daten direkter Messungen der individuellen UV-Exposition für einen Teil der Probanden. Es zeigte sich, dass Teile der Bevölkerung aufgrund des individuellen Lebensstils und des individuellen Nutzungsgrads der einfallenden Solarstrahlung (exzessive Sonnenexposition bei Außenaktivitäten) vergleichsweise großen erythemwirksamen UV-Dosen ausgesetzt sind, die ein reales Gefährdungspotential bedeuten. Betroffen sind hiervon insbesondere Erwachsene mit viel Freizeit sowie Kinder in Kindergärten und in einigen der betrachteten Ganztagschulen. Effektivere und individuell angepasste Empfehlungen zur notwendigen Versorgung mit solarer UV-Strahlung und zum Strahlenschutz in Abhängigkeit vom aktuellen UV-Index, der individuellen UV-Hautempfindlichkeit und des aktivitätsbedingten Nutzungsgrades der natürlichen Sonnenstrahlung sind daher notwendig. Auf Grundlage der in diesem Forschungsvorhaben gewonnenen Erkenntnisse wird empfohlen, die bisher empfohlenen UV-Schutzmaßnahmen für die Allgemeinbevölkerung um eine Bewertung und Klassifizierung des zu erwartenden Gesundheitsrisikos bei solaren UV-Hautbestrahlungen in Abhängigkeit vom UV-Index und des individuellen UV-Hauttyps sowie um präventive Informationen über die während der geplanten Außenaktivität zu erwartende, erythemwirksame UV-Bestrahlung und über daraus resultierende Schutzanforderungen gemäß individuellem Risiko, d. h. in Abhängigkeit vom aktuellen UV-Index, des UV-Hauttyps und der aktivitätsbedingten Nutzungsklasse zu ergänzen. Hierzu dienen die in diesem Forschungsvorhaben abgeleiteten empirischen Gleichungen und Nomogramme zur Abschätzung der möglichen und der erwarteten UV-Dosis in Abhängigkeit vom aktuellen UV-Index sowie vom extensiven und des intensiven Nutzungsgrad.

Ziel des Forschungsvorhabens „**Laiengerechte Kommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten im Bereich EMF (3608S03016)**“ war es, die Kenntnisse über die Einflussfaktoren einer gelingenden Risikokommunikation im Bereich wissenschaftlicher Unsicherheiten zu vertiefen und Strategien zur laiengerechten Risikokommunikation für die Bereiche der nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Felder (EMF) zu erarbeiten. Zur Wirkung von Kommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten bezüglich der Risikoabschätzung von elektromagnetischen Feldern ist bislang wenig bekannt, die vorhandene Evidenz ist widersprüchlich. Experten befürworten mehrheitlich, Unsicherheiten zu kommunizieren. Sie gehen davon aus, dass dadurch die Glaubwürdigkeit des Senders einer Botschaft und das Vertrauen in seine Aussagen gestärkt wer-

den, die für die Akzeptanz von Informationen wesentlich sind. Allerdings stimmen Erfahrungswissen von Experten und Ergebnisse evidenzbasierter Forschung zur Risikokommunikation nicht überein. Die experimentellen Ergebnisse verweisen darauf, dass es auf die Art von Unsicherheit ankommt: Existenz eines Risikos, dessen Größe oder den Risikoschutz. Die inkonsistenten Befunde der Befragungen und der experimentellen Forschung lassen sich mit Hilfe der Elaboration Likelihood Theorie von Petty und Cacioppo (1986) integrieren. Motivierte und in Sachen Risiko kenntnisreiche Bürger können über den zentralen Pfad erreicht werden. Wenig motivierte Bürger und solche ohne Vorwissen sind nur über den peripheren Pfad der Informationsverarbeitung ansprechbar. Die Kommunikation über Unsicherheiten sollte daher die beiden Pfade der Informationsverarbeitung - zentral und peripher - berücksichtigen.

Im Rahmen des Vorhabens „**Weiterentwicklung der EMF-Literaturdatenbank (3607S04527)**“ wurde das EMF-Portal auf Grundlage der gesammelten Erfahrungen und des Nutzer-Feedbacks weiterentwickelt und verbessert. Das EMF-Portal ist eine interdisziplinäre Internet-Informationsplattform, in der wissenschaftliche Studien zum Themenbereich nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder gesammelt und die wichtigsten Inhalte extrahiert und zusammengefasst werden. Bislang wurden mehr als 14.200 Publikationen erfasst und über 3.000 Zusammenfassungen erstellt, die die wesentlichen Inhalte der publizierten Forschungsergebnisse widerspiegeln und dem Leser einen schnellen Überblick über die Ergebnisse der Studie ermöglichen. Die Struktur dieser Zusammenfassungen ist für alle zusammengefassten Artikel ähnlich, was einer schnellen Orientierung und einer besseren Vergleichbarkeit dient. Dazu wurde das Informationssystem um weitere Strukturen zur Aufnahme neuer Publikationsgattungen ergänzt, um die komplette Breite der Literatur im Bereich elektromagnetischer Umweltverträglichkeit zu präsentieren. Auf Grundlage der bereits erfolgten Zusammenfassungen wurden spezifische Ausarbeitungen zu ausgewählten Themen angefertigt. Schließlich wurde die Nutzerfreundlichkeit des EMF-Portals optimiert, indem das Glossar erweitert, das Suchangebot neu programmiert und die „Datenbank der im Alltag auftretenden Feldquellen“ verbessert wurde. Das EMF-Portal, in deutscher und englischer Sprache unter www.emf-portal.de kostenlos zugänglich, wird pro Monat von bis zu 90.000 Nutzern besucht.

THEMENBEREICH 09 - DEUTSCHES MOBILFUNK FORSCHUNGSPROGRAMM

In der Studie „**Einfluss von GSM-Signalen auf isoliertes, menschliches Blut. A. Gentoxizität**“ wurden mögliche gentoxische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung (GSM, 1.800 MHz) in menschlichen Lymphozyten untersucht. Peripheres Blut von 20 gesunden Spendern (Nichtraucher) aus zwei Altersgruppen (10 Spender \leq 18 Jahre, 10 Spender 50-60 Jahre) wurde entnommen, stimuliert und intermittierend 4 Expositionshöhen (0, 0,2, 2 und 10 W/kg) für 28 h ausgesetzt. Diese Expositionsdauer deckt den Zellzyklus von G₀ bis zur Mitose der meisten stimulierten Zellen ab. Die Expositionen wurden in einem Setup bestehend aus 8 Wellenleitern integriert in einem Inkubator unter strikt kontrollierten Temperatur- und Feldbedingungen durchgeführt. Ein Computer wies die Expositionsbedingungen nach dem Zufallsprinzip zu. Nach der Exposition wurden 4 Tests mit unterschiedlichen Endpunkten durchgeführt: Chromosomenaberrationen, Schwesterchromatidaustausche, DNA-Strangbrüche im alkalischen Comet Assay und Mikrokern-Induktion. Positivkontrollen wurden durch Behandlung der Zellen mit ionisierender Strahlung (Caesium-137 und Mitomycin C) implementiert. Vor der statistischen Auswertung war festgelegt worden, dass nur Dosistrends ($p=0,05$) von einem oder mehreren Endpunkten, die von mindestens zwei auswertenden Laboren gefunden wurden, den belastbaren Verdacht eines gentoxischen Effekts begründen. Die Auswertung der Daten zeigte für 8 der 9 untersuchten Endpunkte keinen signifikanten Trend. Nur für die dizentrischen Chromosomen (d. h. für eine von 5 untersuchten Chromosomenaberrationen) zeigte sich ein signifikanter Trend in einem Labor. Dieser Trend wurde von keinem der beiden anderen Labore bestätigt, d. h. ein begründeter Verdacht ist auch für die dizentrischen Chromosomen nicht abzuleiten. Damit ergibt sich folgendes Fazit: Die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern bis zu einem SAR-Wert von 10 W/kg induzierte keine gentoxischen Effekte in stimulierten menschlichen Leukozyten.

SUMMARY

On behalf of the Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) the Federal Office for Radiation Protection (BfS) awards research grants for projects in the field of radiation protection. The findings of these projects serve as decision aiding information in the development of radiation protection regulations as well as in the fulfilment of specific tasks in the field of radiation protection. Planning, technical and administrative preparation, awarding of contracts, general support as well as the technical evaluation of research and study projects are tasks of the Federal Office for Radiation Protection. This report provides information on preliminary and, where applicable, final results (in the form of status reports) of radiation protection projects within the BMU's Environmental Research Plan for the year 2010.

PREFACE

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

INTRODUCTION

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

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

A prerequisite not only for many of the studies but also for proving that dose level values have been kept is the availability of adequate measurement techniques and dose assessment procedures. The multifaceted and complicated measurement tasks needed in **radiation protection technology** require improving existing measurement techniques, developing new systems and continually checking and adjusting dosimetric models and data.

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

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

The investigation focuses primarily on **medical radiation exposures** through diagnostic methods, since they significantly determine the artificial radiation exposure of the German population. Here it mainly depends on comparing the use and risks of examination procedures, finding alternative methods involving less risks and reducing radiation exposure by appropriate methods.

For protecting the population, it is important to investigate how radioactive substances behave in the environment, how they disperse in air and water, how they are enriched in the different ecosystems and their subsequent effect on man via the food chain. Thus, detailed information on **radioecology** is needed.

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

Experiences gained in the context of the Fukushima reactor disaster in spring 2011 have not yet been included in this report. The project "Evaluation of crisis communication in a radiological emergency using the example of Fukushima", however, was additionally included in the UFOPLAN in 2011 already. Currently the project is being technically prepared. On this basis, the project "Investigations on the improvement of crisis communication in a radiological emergency taking into account the experiences gained in the reactor disaster of Fukushima" is to be contracted in 2012.

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

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

On top of this, man's environment is increasingly influenced by the presence and the use of electrical devices as well as by the acceleration in the development of electronic media and wireless communication. The ongoing expansion in this trend requires that new tasks in the field of protection from the effects of **non-ionising radiation** to be performed.

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

SUMMARY OF RESULTS FROM RECENT RESEARCH PROJECTS

In the following the results of selected research projects concluded in 2010 will be reported:

SUBJECT AREA 01 - NATURAL RADIATION EXPOSURE

The research project "**Radiation-associated cancer mortality risk of aircrew - conduct and analysis of an extended follow-up (3607S04548)**" examined the mortality of flight crews in a unique pooled cohort. It is therefore an important source of information to the health of this occupational group. In this new analysis with extended follow-up and larger numbers of cases, we observe a similar mortality pattern as in the first evaluation. The results confirm the relatively low overall risk of death of this professional group. The low mortality of cockpit crew and flight attendants is due in large parts to the "healthy worker effect". The mortality risk for malignant melanoma and prostate cancers in cockpit crew, as well as the mortality from breast cancer in female cabin crew, are found to be increased, yet not statistically significant. The dose-response analysis of all cancer in the German cockpit crew reveals non-significant associations between estimated radiation dose and cancer mortality, but these results are difficult to interpret due to the risk of bias.

The research project "**Health economic evaluation of radon mitigation strategies (3609S10007)**" aims to analyze the cost-effectiveness of several intervention strategies for reduction of radon concentrations in German dwellings at different regional levels. The cost-effectiveness analysis (CEA) is conducted as a scenario analysis within a decision theory model. Model results show that the highest cost-effectiveness can be reached by a universal screening programme and mandatory mitigation of all dwellings with radon readings exceeding 100 Bq/m³. Within a uniform national strategy, about 9,100 lung cancer cases could be averted

over the 40-year period under consideration. Thereby, cost effectiveness is 25,181 € (95% CI: 7,371 - 90,593 €) per quality-adjusted life-year (QALY) gained. Detailed small area analyses reveal that costs per QALY vary from 12,000 € to several hundreds of millions of €. Other intervention strategies focussing primarily on personal responsibility for screening/mitigation as well as radon-proof construction, however, have a much lower incremental cost-effectiveness ratio. Spatial differentiation also shows that cost-effectiveness is also significantly influenced by further factors that are heterogeneously distributed on the regional scale, particularly the exposure to other carcinogenic substances as well as varying population and building structures.

The research project “**Investigation on kind, amount and features of NORM residues abroad and assessment of the resulting radiation dose to members of the public due to disposal or reuse (3608S01001)**” investigated the European inventory of NORM based on the German Radiation Protection Ordinance and envisages an expendable material data base. Against the background of increasing transboundary movements of wastes, a harmonized level of supervision of Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) shipments is necessary to ensure a safe and environmentally sound but proper functioning internal market in the European Union. The revision of the German Radiation Protection Ordinance (StrlSchV) foresees in Part 3 chapter 3 an enhancement of the regulatory objectives to include NORM from abroad that will be imported to Germany for disposal or utilization. The elaboration of such a regulatory framework requires a detailed knowledge about relevant processes, kind, quantity and features of residues in EU member states. A dose assessment for workers and members of the public in case of disposal or utilization of such imported residues and wastes was performed, taking into account requirements of European and German waste regulation.

Within the research project “**Investigations of singular releases of radon from mining residues and their impact on outdoor radon (3609S10005)**” investigations about the convectively dominated radon release into the atmosphere on the one hand and about the characteristics of radon dispersion due to Cold Air Flows at night time on the other hand were carried out on dumps of former uranium mining at Johanngeorgenstadt/Saxony. Because of the well known downward convection within the dumps the results showed intense radon exhalations from the dump foot. Cold Air Flows were proven by extreme radon concentrations downstream of the dumps for limited periods of time, which were detected in the evening and at night. The occurrence of Cold Air Flows was correlated to periods of decreasing air temperature and air stratification with near ground cold air. The data were used to model the determining physical processes "dump as radon source" with convective radon release, and "transport of released radon within Cold Air Flows" downstream the dump, respectively. Both were implemented in two part models and coupled via meteorological boundary conditions (weather statistics). An approach for a methodology to predict radon exhalation and dispersion for other sites and objects is proposed. Input data are site and climate parameters. The site parameters have to be acquired from field measurements. Partly these can be derived from topographic information and historical data of the object. Based on these data using the proposed model concept a prediction can be made for the radon concentration time behaviour and annual mean values. Within this project a significant increase of the understanding of the relevant processes responsible for the observed high radon concentrations was gained.

SUBJECT AREA 02 - RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

In the research project “**Retrospective Dosimetry for the population in emergency situations (3607S04560)**”, certain encapsulations of chip card modules, that find use in debit, credit, health insurance and SIM-cards and electronic components in portable electronic devices were identified as materials that are useful for reconstruction of individual radiation exposures in radiological emergencies. The developed measurement protocols allow the determination of individual doses within one day, with minimum detectable doses of 10 - 20 mGy for up to 10 days after exposure. All materials have the common feature of showing a linear dose response up to approx. 10 Gy but also a long-term signal instability for storage at room temperature. This implies that the time of exposure has to be known, in order to correct the signal using the fading curves determined in the project. Further, a maintenance-free BeO based luminescence detector was developed, showing high sensitivity and an essential flat photon energy response. Two computational procedures for two different cases were developed, in order to produce maps of contamination or effective dose from the localized dose measurements.

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

German statutory health insurance companies offer all women between 50 and 69 years of age a comprehensive and quality-assured program for early detection of breast cancer - the so-called Mammography Screening Program (MSP). The general objective of MSPs is to reduce breast cancer mortality, a goal which may not become apparent until several years after the introduction of the MSP. The aim of the research project **“Concepts to evaluate breast cancer mortality in the German Mammography Screening Programme (3609S40004)”** was to develop possible - German MSP specific - approaches to evaluate breast cancer mortality. To assess the current status of research, a Systematic Review (SR) of international evaluation concepts was conducted in collaboration with the Department „Health Care Management“, TU Berlin. Based on the results of the SR, all potential approaches were considered accounting for the following aspects: study design, data sources, sample size, evaluation plan, control measures for relevant types of bias (e. g. lead-time, over-diagnosis, lengthtime bias) and methods to deal with the screening history and other factors. The concepts were presented in detail, and recommendations how to perform the mortality evaluation were given. The concepts and recommendations were presented and discussed at an expert meeting.

In the course of the research project **“Survey to determine frequency and radiation dose from nuclear medical diagnostics (3608S04003)”** data about frequency and radiation exposure of nuclear medical examinations in the years 2007 and 2008 were collected and analyzed. The examined sample consists of 25 hospitals and 23 private practices from all over Germany. The distribution of examined organ systems shows a significant change in comparison with an earlier survey for the years 1996 to 2000. Especially the frequency of lung and kidney examinations decreased in the ambulant medical care. In the investigated period, the amounts of radioactivity applied for certain examinations show significant deviations from the recommendations, published as “Diagnostic Reference Values” in 2003. For some units these deviations range up to a factor of two. The average activities administered to children follow the EANM dosage card recommendations for paediatric diagnostics. Physical image quality can be estimated by the number of radiation quanta used for each image. Based on this definition the collected data indicate that different nuclear medical sites work with images of significantly different physical image qualities. The data from the second half of the year 2008 gives an insight into the extend of and reactions to the shortage of Mo/Tc. Many nuclear medical sites reacted flexibly to this challenge: diagnostic procedures, which require a lot of activity, were performed less often while others, which can be performed with low activities, became more frequent or their number stayed stable.

The objective of the research project **“Measurement of effective doses of CBCT devices in relationship to another measured value (3609S40003)”** was the acquisition of installation and examination frequencies of dental CBCT units in Germany as well as the assessment of the associated radiation exposure of the patients. Administrative data were delivered by regional control boards. The examination frequency was assessed from the respective data of one region in Germany and then extrapolated to the whole country. The effective doses were acquired by exposing TLDs in an anthropomorphic head phantom or Rando-phantom, respectively. In parallel dose area product (DAP) measurements were conducted. The aim was to finally get equipment specific conversion coefficients between effective doses and DAP values. In the present study DAP values from 0.1 to 550.7 μGym^2 and effective doses from 17.2 to 396.0 μSv were determined.

SUBJECT AREA 05 - RADIOECOLOGY

The objective of the research project **“Investigation of the leachability of long-lived radionuclides from demolition rubble (3608S04571)”** was to establish a realistic and verified model for the description of the leachability of long lived radionuclides from construction rubble resulted from the dismantling of nuclear power plants and disposed on above ground disposal sites. For this purpose experiments and modeling of the release of U, Th, Ra and I from construction rubble were performed. In large scale percolation experiments three construction materials of a given composition and grain size were leached in 200 liter containers under the precipitation regime in northern Germany. The discharge of radionuclides was measured and compared with the results of the modeling. In addition the mobilization of the nuclides was measured under equilibrium conditions in batch experiments and compared with the geochemical modeling. Furthermore retention parameters, Kd values, for these nuclides on the three materials were determined in batch experiments and compared with literature data for construction materials and soils.

SUBJECT AREA 06 - EMERGENCY MANAGEMENT

The research project “**Education and advanced training of physicians in radiation accident management (3607S04541)**” implied the development, testing, and evaluation of a curriculum for educating and training physicians in pre-hospital radiation accident management and the development of a master curriculum. Objectives were to develop, preserve, and enlarge medical competence concerning pre-hospital care of radiation accident patients. The project is expected to contribute to qualification of emergency physicians challenged by scenarios related to radiological and nuclear hazards. The development and the content of the curriculum for educating and training physicians in pre-hospital radiation accident management are being described. The conduction and evaluation of two pilot training courses with a total of 40 participating physicians are being presented. Successful testing of the pilot courses proves the value of the curriculum developed. Self-contained courses can be performed according to the master curriculum and the respective master presentations. Moreover, single modules can be integrated in existing education and training programmes. Suggestions for the implementation and accreditation of the curriculum were made.

Within the research project “**Source term predictions used as input data for the real-time online decision support system RODOS in case of an event in a nuclear power plant during shutdown periods (3608S04568)**” accident sequence scenarios during shutdown periods of boiling and pressurized water reactors which may result in a release of radioactive substances to the environment have been identified. On the basis of source term calculations of level 2 probabilistic safety analysis during power operation the source terms for the accidents during shutdown periods have been conservatively estimated. The resulting radiological consequence in the vicinity of the plant have been assessed and compared to the radiological consequences of comparable accidents during power operation. Finally, source terms for events during shutdown periods as input data for the source term data base of RODOS have been proposed. As selection criteria the radiological consequences as well as the core damage frequency have been used.

Adoption of common standards for the reporting procedure can be made possible on the basis of the results of the research project “**Further development of computer-based emergency reporting procedure in the case of an accident at a nuclear installation (3608S06007)**” coming to authority's decisions necessary for the protection of the population will be faster and more effective. The reliable and on-time provision of information necessary for the responsible authorities is an important basis for the assessment of radiological hazards in the surroundings of an NPP and thus for the early start of adequate protection measures. An optimization of the existing reporting procedure is possible and necessary.

The aim of the research project “**Update of the source term library of the decision support system RODOS for events in normal operation mode (3609S60009)**” was to adapt the source terms of the emergency response planning decision support systems such as RODOS aim to support the responsible authorities by providing estimates for the possible radiological consequences in case of an event in a nuclear plant. The availability of typical accidental source terms in the RODOS-library is one of the foundations with high relevance for this purpose. The present set of source terms represents the state-of-the-art of accident analysis for full power operation. It turns out that some of the source terms cannot completely be mastered by the present emergency response concept. Reasons for further completion of the source term library are given.

SUBJECT AREA 07 - PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Acute lymphatic leukemia (ALL) is a malignant disease of the white blood cells characterized by uncontrolled clonal proliferation of lymphoid precursor cells. In the genome-wide association study “**Analysis of environmentally caused genetic aberrations associated with the development of childhood leukaemia (3609S30013)**” 355750 SNPs were analyzed in 419 childhood ALL cases and 474 controls. The 419 cases are characterized by a t(12;21)(p13;q22) translocation, which is the most common chromosomal translocation observed in childhood ALL leading to an ETV6-RUNX1 gene fusion. The 100 most strongly associated single-nucleotide polymorphisms (SNP) were followed up in 693 ETV6-RUNX1-positive childhood ALL cases and 2261 controls consisting of two independent groups from Germany / Austria and Italy. In these analyses, two novel risk loci were identified. The separate analysis of the combined German / Austrian sample only, revealed additional genome-wide significant associations with disease risk. The findings demonstrate for the first time that - besides modulating the overall risk of ALL - germline genetic variation can specifically contribute to the risk of ALL subtypes.

SUBJECT AREA 08 - NON-IONISING RADIATION

In order to determine daily and seasonal (cumulative) solar UV exposure in relation to the lifestyle and to the current solar UV index, adults, seniors as well as children at kindergarten and at school were observed within the research project “**Determination of the individual UV exposure depending on lifestyle and current UV index (3608S03012)**” based on questionnaires, diaries and synchronously measured data of erythema effective irradiance within the German network of solar UV monitoring. To evaluate solar exposure in relation to individual outdoor activity, the degree of extensive utilization e and the degree of intensive utilization i were defined and used to classify volunteers. Calculated data of exposure were verified by comparison with data of direct measurements of individual exposure which were performed by including a subset of probands. It was found that parts of the population are exposed to comparatively high erythema-effective UV doses due to individual lifestyle and individual degree of utilization of incident solar radiation (excessive UV skin exposure during outdoor activities) which indicates a real health risk. This is true for both adults and seniors with a high level of free time and children in kindergartens and in some of the examined allday schools. The results show the need for more effective radiation protection measures depending on the current UV index, on the individual UV sensitivity of the skin and on the utilization degree of solar irradiation. Thus, in addition to general recommendations of UV skin protection it is proposed to evaluate and classify the expected health risk caused by solar UV skin exposures according to both the UV index and the individual phototype of skin, and to provide information about the expected erythemal UV dose during outdoor activity and needed protection measures according the individual risk, e. g. according to the current UV index, to the phototype of skin and to utilization class of solar irradiation during outdoor activity. For this, the derived empiric formulas and nomogram should be used in order to estimate both potential and expected daily erythema effective doses by using actual data of the UV index and data of the extensive and of the intensive degree of utilization.

In the research project “**Systematic ascertainment of all non-ionising radiation sources relevant for general public exposure (3609S80004)**” all artificial sources of non ionising radiation (electric, magnetic or electromagnetic fields in a frequency range starting from 0 Hertz to 300 GHz as well as optical radiation in a wavelength range from 100 Nanometres to 1 Millimetre) were systematically identified and afterwards evaluated by means of criteria, that are based both on international and national recommendations and basic principles of radiation and environment protection. For that purpose points were assigned to the different criteria in an assessment scheme. The score of each source represents the relevance of its potential contribution to the general public's exposure.

The aim of the research project “**Laymen adequate communication of scientific uncertainties in the field of EMF (3608S03016)**” was, to improve the knowledge about the influencing factors for a successful risk communication in the field of scientific uncertainties and to develop strategies for a laymen adequate risk communication in the range of low- and high frequency electromagnetic fields. To date little is known about the effects of communicating uncertainties concerning the risk assessment of electromagnetic fields; in addition, the available evidence is contradictory. The majority of experts interviewed are in favour of reporting uncertainties. They assume that it strengthens the sender's credibility and the confidence in his statement. But experts' practical knowledge and the results of evidence-based research on risk communication are inconsistent. The experimental results indicate that information and communication about uncertainties depend on the type of uncertainty discussed. The effects differ depending on whether the existence of a risk, its size or the risk protection is concerned. The inconsistent results of the interviews and the experimental research can be integrated by the means of Petty's and Cacioppo's Elaboration Likelihood theory (1986). Citizens that are motivated and possess knowledge in the matter of risks can be reached via the central path but poorly motivated citizens and those without previous knowledge can only be reached via the peripheral path of information processing. Therefore communication about uncertainties has to account for both paths of information processing - the central and the peripheral.

Within the project “**Advancement of the EMF literature database (3607S04527)**”, on the basis of the operating experience and user feedback, the EMF-Portal was further developed and improved. The EMF-Portal is an interdisciplinary Internet information platform in the research area of non-ionising radiation effects. Scientific studies on the subject low-frequency and radio frequency electromagnetic fields are collected and the main contents of the publications are extracted and summarized. To date, more than 14 200 publications are collected and over 3000 summaries are created that reflect the essential content of the published research results and give the reader a quick overview of the results of the study. The structure of these summaries is similar for all articles - for a quick orientation and a better comparison. Additional structures to accommodate new kinds of publication were added to present the full range of literature in the field of electromagnetic fields. Based on the already established summaries specific elaborations were made on selected topics. Finally, the

user-friendliness of the EMF-Portal has been optimized by expanding the glossary, rewriting the search engine and improving the database of everyday life's exposure sources. The EMF-Portal, accessible free of charge in German and English at www.emf-portal.org is visited by up to 90 000 users per month.

SUBJECT AREA 09 - GERMAN MOBILE TELECOMMUNICATION RESEARCH PROGRAMME

In the study “**Effects of GSM signals on isolated human blood. A. Genotoxicity**” a possible genotoxic effect of radiofrequency (RF) radiation (GSM, 1 800 MHz) in human leukocytes was investigated. Peripheral blood of 20 healthy, non-smoking donors of two age groups (10 donors \leq 18 years; 10 donors 50 - 60 years) was taken, stimulated and intermittent exposed to 4 doses of RF-radiation (sham, 0.2 W/kg, 2 W/kg, 10 W/kg) for 28 hours, a period covering the cell cycle from G0 to mitosis of the most stimulated cells. The exposures were performed in a setup consisting of 8 waveguides integrated in a incubator with strictly controlled conditions of temperature and dosimetry. A computer randomly allocated the doses of the waveguides. After exposure 4 tests with different cytogenetic endpoints were performed: chromosomal aberrations, sister chromatid exchange, DNA strand breaks (comet assay) and micronuclei formation in binucleated cells. Positive controls were implemented treating the cell cultures with ionising radiation (Caesium-137 and Mitomycin C). Before statistical analysis it was determined, that only dose trends ($p= 0.05$) of one or more endpoints found by two analysing laboratories lead to a reasonable suspicion of an genotoxic exposure effect.

Analysis of the data showed no significant dose trend for 8 of the 9 measured endpoints. Only one significant dose trend of only one laboratory for dicentric chromosomes (1 of 5 types of detected chromosomal aberrations) was found. This dose trend was not confirmed by one or both of the other 2 laboratories. Thus, there was also no reasonable exposure effect concerning dicentric chromosomes. Radiofrequency radiation up to a SAR of 10 W/kg did not induce genotoxicity in stimulated human leukocytes.

CONTENT

The following report includes preliminary and, accordingly, final results of all radiation protection projects within the BMU's applied research programme conducted in Germany during 2010:

RESULTS OF BfS SUPPORTED BMU RADIATION PROTECTION RESEARCH PROJECTS IN 2010

SUBJECT AREA 01 NATURAL RADIATION EXPOSURE

Radiation-associated cancer mortality risk of aircrew - conduct and analysis of an extended follow-up
3607S04548

Investigation on kind, amount and features of NORM residues abroad and assessment of the resulting radiation dose to members of the public due to disposal or reuse
3608S01001

Investigations of singular releases of radon from mining residues and their impact on outdoor radon
3609S10005

SUBJECT AREA 02 RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Retrospective Dosimetry for the population in emergency situations
3607S04560

SUBJECT AREA 04 MEDICAL RADIATION EXPOSURES / X-RAY ORDINANCE

Concepts to evaluate breast cancer mortality in the German Mammography Screening Programme
3609S40004

Survey to determine frequency and radiation dose from nuclear medical diagnostics
3608S04003

Measurement of effective doses of CBCT devices in relationship to another measured value
3609S40003

SUBJECT AREA 05 RADIOECOLOGY

Investigation of the leachability of long-lived radionuclides from demolition rubble
3608S04571

SUBJECT AREA 06 EMERGENCY MANAGEMENT

Education and advanced training of physicians in radiation accident management
3607S04541

Source term predictions used as input data for the real-time online decision support system RODOS in case of an event in a nuclear power plant during shutdown periods
3608S04568

Development of a manual for the authorities emergency management in the case of an accident at a nuclear installation
3608S06007

Update of the source term library of the decision support system RODOS for events in normal operation mode
3609S60009

SUBJECT AREA 07

PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Analysis of environmentally caused genetic aberrations associated with the development of childhood leukaemia

3609S30013

Health economic evaluation of radon mitigation strategies

3609S10007

SUBJECT AREA 08

NON-IONISING RADIATION

Systematic ascertainment of all non-ionising radiation sources relevant for general public exposure

3609S80004

Determination of the individual UV exposure depending on lifestyle and current UV index

3608S03012

Laymen adequate communication of scientific uncertainties in the field of EMF

3608S03016

Advancement of the EMF literature database

3607S04527

SUBJECT AREA 09

GERMAN MOBILE TELECOMMUNICATION RESEARCH PROGRAMME

Effects of GSM signals on isolated human blood. A. Genotoxicity

STATUS REPORTS

OF BfS SUPPORTED BMU RADIATION PROTECTION RESEARCH PROJECTS

SUBJECT AREA 01

NATURAL RADIATION EXPOSURE

Biological sample and data collection of occupationally radiation exposed workers - the German Uranium Miners Biobank - a pilot study

3607S04532

Third follow-up of the mortality of the cohort of approximately 64000 former Wismut employees at the appointed date 31st December 2008

3608S01005

Verification of dose rate in aircraft taking into account the solar cycle, the dislocation of magnetic pole and solar particle events in order to quality control for radiation dose calculation of air crews

3608S10003

Basis for the assessment of the comparability of different methods for the determination of radon concentration in soil gas

3609S10003

Continuation and technical support of the Internet platform for the European Network for naturally occurring radioactive materials (NORM) Database

3609S10006

SUBJECT AREA 02
RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Improvement of the inhalation dosimetry after exposure to radioactively contaminated aerosols
3608S04544

Development of procedures to determine the conformance of phantoms, used for quality assurance in radiography, with their specification in corresponding standards
3608S20001

Update and evaluation of task-related exposure in nuclear facilities and other radiation relevant installations under the aspect of optimization
3609S20001

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

Functional analysis of the molecular mechanisms of radiation-induced apoptosis not directly mediated by DNA damages
3607S04531

Detection of radiation-induced gene alterations in breast cancer for an improved assessment of radiation-related risks
3608S03004

Effects of low frequency electromagnetic fields on the induction and progress of neurodegenerative diseases in an animal model
3608S03008

Pilot study for an epidemiological study on the association between ionising radiation and cataract development
3609S30004

3D / 4D architecture of chromosomal break point regions in nuclei after radiation exposure of normal and cancer cells
3610S30015

Characterization of Auger emitter-induced radiotoxic effects on the cellular level and the development of new radiation protection concepts considering the radiation risk as a function of the dose rate
3608S03002

Processing of radiation-induced DNA damage during the replicative S-phase of the cell cycle
3610S30016

SUBJECT AREA 04
MEDICAL RADIATION EXPOSURES / X-RAY ORDINANCE

Feasibility study for the assessment of medical ionising radiation exposure in the German National Cohort Study
3610S40001

Physical optimization and risk assessment of diagnostic and therapeutic procedures using ionising or non-ionising radiation
3608S04001

Providing of national standards for radiation protection and quality assurance in medical radiology
3608S04575

Construction of hybrid voxel models for optimising image quality and dose in radiography
3609S40002

SUBJECT AREA 05
RADIOECOLOGY

Improvement and validation of ARTM for the application as an atmospheric dispersion model in AVV and SBG
3608S05005

Nationwide survey of the radiocaesium contamination of wild boars
3607S04561

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

Supporting the Federal Office for Radiation Protection in the development of reference biosphere models for the radiological long-term safety assessment - Biosphere scenario analysis for potential waste repository sites
3609S50004

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 - Modeling the radionuclide transport in biosphere compartments
3609S50005

SUBJECT AREA 06 EMERGENCY MANAGEMENT

Use of equipment in nuclear medicine facilities in case of radiological emergency situations with high to very high body activities within the scope of the REMPAN network
3609S60012

SUBJECT AREA 07 PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Experimental determination of resuspension rates of radioactive materials bound in particles from relevant contaminated surfaces during radiological emergencies in order to evaluate the exposition of first responders and affected people through the resuspension of radioactive particles
3609S70005

Quantitative radiation risk assessment under consideration of individual exposure scenarios - update of the radio-epidemiological tables
3607S04570

Revision of technical radiation protection standards in the range of the Materials Testing Standards Committee (NMP)
3608S07005

Systematic investigation of the exposure to non-human species under compliance with the dose limits for reference persons according to the German Radiation Protection Ordinance
3609S70006

SUBJECT AREA 08 NON-IONISING RADIATION

Influence of high frequency electromagnetic fields of mobile phone telecommunication on human fibroblasts (genotoxicity)
3607S04504

Genotoxic effects of terahertz radiation in vitro
3607S04533

Influence of low frequency electromagnetic fields on the developing hematopoietic system, immune system and CNS in vivo
3608S03006

Effects of exposure to strong static magnetic fields on the cognitive performance of volunteers
3608S03009

Effects of repeated exposure with strong static magnetic fields of MRI on reproduction and development in an animal model
3608S04557

Extension study to a multinational case-control study of brain cancer from exposure to radiofrequency fields in childhood and adolescence (MOBI-KIDS)
3609S30010

Determination of the exposure against electromagnetic fields caused by applications of the radiofrequency identification (RFID) technology
3609S80002

UV-dependent Vitamin D3 synthesis - balancing of the UV exposure time and production of the optimal need of vitamin D3 in men
3607S04538

Investigations into the mechanisms of effects of low frequency magnetic fields on the genetic material and signal transduction
3607S04556

Effects of repeated exposition with strong static magnetic fields of MRI during embryogenesis on cognitive and emotional behaviour in mice
3609S30014

SUBJECT AREA 09

GERMAN MOBILE TELECOMMUNICATION RESEARCH PROGRAMME II

Age dependent effects of high-frequency electromagnetic fields on the development and differentiation of the CNS of juvenile laboratory rodents

RESEARCH PROJECTS STARTED IN 2010

Analysis of epigenetic effects (microRNAs) in former workers of the SAG/SDAG Wismut
3610S10001

Special analysis of the Wismut study
3610S10002

Individual Monitoring with electronic personal dosimeters in pulsed radiation fields / Part 2
3610S20001

Risk of congenital malformation amongst children of women in medical/diagnostical professions occupationally exposed to ionising radiation
3610S40004

Further development of computer-based emergency reporting in the case of an accident at a nuclear installation
3610S60002

General concepts for protective actions in the case of nuclear and radiological accidents
3610S60014

Cancer risk estimation after acute exposure to gamma rays by analysis of data for the atomic bomb survivors of Hiroshima and Nagasaki (follow-up)
3610S04551

ERGEBNISSE
DER VOM BfS BEGLEITETEN STRAHLENSCHUTZ-FORSCHUNGSVORHABEN
DES BMU IM JAHR 2010

*RESULTS
OF BfS SUPPORTED BMU RADIATION PROTECTION RESEARCH PROJECTS
IN 2010*

Themenbereich 01
Natürliche Strahlenexposition

*Subject area 01
Natural radiation exposure*

Thema Strahlenbedingtes Tumorrisiko beim Flugpersonal - Durchführung und Analyse eines zweiten Follow-up			
Subject <i>Radiation-associated cancer mortality risk of aircrew - conduct and analysis of an extended follow-up</i>			
Kennzeichen 3607S04548	Beginn 01.01.2008	Ende 31.12.2010	Fördermittel EUR 218.603,-
Forschungs- / Auftragnehmer Johannes Gutenberg-Universität Mainz Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI)			
Projektleitung Dr. G. Hammer	Fachbetreuung BfS Dr. M. Schnelzer / AG-SG 1.3	verantwortlich für den Text Dr. G. Hammer	

1. ZIELSETZUNG

Mit Hilfe einer Kohortenstudie sollte untersucht werden, ob es einen Zusammenhang zwischen der Belastung mit kosmischer ionisierender Strahlung und der Krebssterblichkeit beruflich exponierter Mitarbeiter von Fluggesellschaften gibt.

Hierzu wurden bereits in Deutschland und anderen Ländern Kohortenstudien bei dem Flugpersonal diverser Fluggesellschaften nach einheitlichem Protokoll durchgeführt, deren Follow-Up 1997 endete. Sie wurden vom Forschungsnehmer gemeinsam ausgewertet und publiziert. Auf Grund des niedrigen Altersdurchschnitts der Probanden wurden zu diesem Zeitpunkt - trotz der Größe der Kohorten - bisher relativ wenige Todesfälle beobachtet.

Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurden das Mortalitäts-Follow-Up der deutschen Kohorte zum Stichtag 31.12.2004 vervollständigt, sowie relevante Expositionsdaten erhoben. Die deutsche Kohorte wurde hinsichtlich des strahlenbedingten Tumorsterblichkeitsrisikos mittels externer und interner Analysen untersucht. Eine gemeinsame Mortalitätsauswertung europäischer Kohorten sowie einer US-amerikanischen Kohorte zum selben Thema wurde analog zur Auswertung der deutschen Daten durchgeführt. Die Auswertungen tragen zu einer erweiterten und präziseren Einschätzung gesundheitlicher Risiken kosmischer Strahlung sowie anderer beruflicher Risiken des Flugpersonals bei.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ZUSAMMENSTELLUNG UND -AUFBEREITUNG DER DEUTSCHEN KOHORTE

Auf Basis der aus dem ersten Follow-up (bis 31.12.1997) vorhandenen Kohorte (Cockpit- und Kabinenpersonal) wurden der Vitalstatus und ggf. die Todesursache zum Stichtag 31.12.2004 recherchiert. Die Gesamtkohorte umfasst 6.121 Mitglieder des Cockpitpersonals und 20.772 Beschäftigte des Kabinenpersonals.

2.2 EXPOSITIONSABSCHÄTZUNG IN DER DEUTSCHEN KOHORTE

Das Ziel der Expositionsermittlung ist eine individuelle, zeitbezogene Ermittlung von jährlichen Strahlendosiswerten. Dies ist auf Grund der Besonderheiten der Datenerhebung bei den beteiligten Fluggesellschaften nur für das Cockpitpersonal möglich. Es wurden von den Fluggesellschaften jährliche, flugzeugtyp-bezogene Flugstunden erhoben und mit Strahlendosisraten aus einer dazu passenden Job-Expositions-Matrix multipliziert. Zur Validierung der Methode wurden Daten des Strahlenschutzregisters hinzugezogen.

Die Job-Expositions-Matrix, die in der ersten Studie verwendet wurde, wurde um weitere Jahre und neue Flugzeugtypen ergänzt.

Auf Grundlage der Taschenflugpläne der Jahre 1995, 2000 und 2005 wurden durchschnittliche Strahlendosisraten pro Flugstunde, aufgeschlüsselt nach Jahr und Flugzeugtyp mit der Software CARI v.6 (bzw. EP-CARD) berechnet. Jahreswerte zwischen 1995 und 2000 bzw. 2000 und 2005 wurden geeignet interpoliert.

2.3 INTERNATIONALE KOOPERATION

Analog zur ersten gemeinsamen Auswertung der Daten von insgesamt neun Forschergruppen, die Kohortenstudien zum Fluggpersonal mit einem gemeinsamen Studiendesign durchgeführt haben, fand eine neue Auswertung mit aktualisierten Daten statt. Die Bereitschaft hierzu signalisierten uns alle ehemaligen Partner. Für die neue Auswertung wurden Datenformate, Datenlieferung und Auswertungsprotokoll erneut abgestimmt. Der ehemalige Kooperationspartner aus Großbritannien stand nicht mehr zur Verfügung. Stattdessen konnte eine andere Forschergruppe zur Kooperation gewonnen werden, mit einer ähnlich großen Kohorte. Zusätzlich wurde das US-amerikanische NIOSH mit einer Kohorte ehemaliger Beschäftigter von PanAm gewonnen. Einzelne Partner, die eine Unterstützung bei der Erhebung der neuen Kohortendaten benötigen, wurden finanziell unterstützt.

3. METHODIK

3.1 ZUSAMMENSTELLUNG UND -AUFBEREITUNG

Der Vitalstatus der deutschen Kohortenmitglieder und ggf. ihre Todesursache werden über Anfragen bei Einwohnermeldeämtern und Gesundheitsämtern erhoben. Die Kooperationspartner erhoben ihrerseits den Vitalstatus ihrer Kohortenmitglieder mit landesspezifischen Methoden, im Allgemeinen durch einen neuen Abgleich mit einem Mortalitätsregister.

3.2 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Alle Auswertungen wurden getrennt und in gleicher Weise für die Subkohorten der Piloten und des weiblichen und des männlichen Kabinenpersonals durchgeführt.

Auswertungen zu Trends der Sterblichkeit mit zunehmender Berufsdauer, Flugstunden oder Strahlendosis wurden nur in der deutschen Teilkohorte durchgeführt. Nur für diese Kohorte wurden die Berufsangaben bis zum Ende des Follow-up vervollständigt. Die entsprechenden Angaben in den anderen Teilkohorten waren nur bis zum Stand des ersten Follow-up aktuell.

3.2.1 Externer Vergleich: Standardisierte Mortalitäts-Ratio (SMR)

Bei diesem Auswertungsansatz werden die Sterbedaten der Kohorte mit denen der Allgemeinbevölkerung verglichen. Hierzu wird die Methode der Standardisierten Mortalitätsratio SMR verwendet, mit dem die in der Kohorte beobachteten Sterbefälle mit den nach Zeitperiode (5-Jahresgruppen), Geschlecht und Alter (5-Jahresgruppen) stratifizierten Mortalitätsraten der deutschen Allgemeinbevölkerung verglichen werden. SMR wurden für Gruppen von Todesursachen und für einzelne Krebsentitäten berechnet. Zusätzlich wurden SMR nach Beschäftigungsdauer berechnet.

Für den externen Vergleich der Sterblichkeit wurden länderspezifische Daten (Todesfall- und Populationszahlen) der amtlichen Statistik in 5-Jahres-Altersgruppen und Kalenderperioden genutzt. Länderspezifische Sterblichkeitsraten wurden von den Kooperationspartnern zugesandt. Ansonsten wurde auf die WHO Mortality Database (www.who.int/healthinfo/morttables/en/index.html) zurückgegriffen.

Wie im ersten Follow-up wurde in der Auswertung der Umstand, dass für einen kleinen Teil der als „verstorben“ gemeldeten Personen die Todesursache nicht ermittelt werden konnte, berücksichtigt. Es wurde die von Rittgen und Becker (2000) vorgeschlagene Methode benutzt, die fehlenden Ursachen anteilmäßig mit den in der Kohorte beobachteten Todesursachen aufzufüllen. Dieses Vorgehen ist u. a. dann gerechtfertigt, wenn nicht selektiv nur bestimmte Todesursachen unerfasst bleiben, wovon in dieser Studie auszugehen ist.

3.2.2 Interne Vergleiche mittels Poisson-Regression / Relative Risiken (RR) in der deutschen Kohorte

Bei der internen Auswertung mittels Poisson-Regression werden als Regressionsvariablen das Alter, die Beschäftigungsdauer und die Strahlendosis in mSv (nur Cockpitkohorte) jeweils kategorisiert aufgenommen. Die Zielvariable ist die entsprechende Mortalitätsrate in der Kohorte.

Grundsätzlich wurde hierbei auf die im Analyseplan festgelegten Kategorien für Gesamtbeschäftigungsdauer (0 - 9,99 Jahre, 10 - 19,99 Jahre, 20 - 29,99 Jahre, 30+ Jahre) und Strahlendosen (0 - 4,99 mSv, 5 - 14,99 mSv, 15 - 24,99 mSv, 25+ mSv) Bezug genommen. Für die expositionsabhängigen Betrachtungen wurden die Personenjahre dann auf die von Breslow und Day (1987) beschriebene Methode den Beschäftigungsperioden dynamisch zugeordnet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 DOSISBEZOGENE AUSWERTUNGEN IN DER DEUTSCHEN KOHORTE

Expositionsdaten (individuelle Blockstunden) wurden im Juli 2009 übermittelt. Sie wurden im August/September umverschlüsselt und überprüft. Mit Hilfe der JEM wurden individuelle, jährliche Strahlendosen geschätzt. Diese korrelieren sehr stark sowohl mit den Blockstunden als auch mit der Beschäftigungsdauer. Anhand der vorliegenden Daten lässt sich daher nicht klar unterscheiden, ob beobachtete Effekte strahlenbedingt sind. Ein weiterer Punkt ist bei dosisbezogenen Auswertungen zu beachten: hohe Strahlendosen (relativ zu ihren Kollegen) erreichen nur Piloten, die viele Jahre Düsenflugzeuge gesteuert haben. Für junge Piloten sowie für ältere Piloten trifft das nicht zu. Für das Lebensalter der Piloten lässt sich daher in den dosisbezogenen Auswertungen, im Gegensatz zu den SMR-Analysen, nicht vollständig adjustieren.

4.2 GEPOOLTE ANALYSE

Die Daten aller Kooperationspartner wurden im Laufe des Jahres 2010 geliefert und Ende 2010 in ein einheitliches Schema gebracht, das demjenigen der deutschen Kohortendaten gleicht. Anschließend erfolgten Plausibilitätsprüfungen und entsprechende Rückfragen an alle Kooperationspartner. SMR-Analysen wurden mit der gleichen Methodik durchgeführt, die auch für die deutschen Kohortendaten verwendet wurde.

5. ERGEBNISSE

5.1 KOHORTENZUSAMMENSTELLUNG UND FOLLOW-UP

Die gepoolte Kohorte rekrutiert sich aus insgesamt 78.483 Besatzungsmitgliedern. Nach Ausschluss unplausibler und nicht korrigierbarer Daten ergibt sich so eine Auswertungskohorte von 78.208 Personen (Tabelle 1). Die deutsche Teilkohorte bildet hierbei die größte Teilkohorte. Beschränkt auf das Cockpitpersonal handelt es sich bei der deutschen Teilkohorte im internationalen Vergleich um die zweitgrößte Stichprobe.

Insgesamt 4.407 Todesfälle wurden in der Kohorte beobachtet, darunter 1930 beim männlichen Cockpitpersonal (7,8% dieser Teilkohorte), 1.215 (10,4%) bei Flugbegleitern und 1.258 (3,0%) bei Flugbegleiterinnen (Tabelle 2). Unter den Todesfällen waren 1.481 (33,7%) Krebstodesfälle. Unter den 360 Frauen, die als Cockpitcrew tätig waren oder sind, wurden nur 4 Todesfälle beobachtet, weswegen sie nicht in weitere Auswertungen eingeschlossen werden konnten.

Tabelle 1:

Anzahl Personen in der internationalen Auswertung nach Teilkohorte

Land	Cockpit		Kabine		Gesamt
	Männer	Frauen	Männer	Frauen	
Deutschland	6004	90	3731	17019	26844
Dänemark	3756	92	1285	4887	10020
Finnland	759	10	188	1567	2524
Griechenland	841	0	627	1226	2694
Island	438	0	157	1532	2127
Italien	3017	6	3412	3427	9862
Schweden	1465	0	590	2289	4344
Großbritannien	8343	162	0	0	8505
USA	0	0	1682	9606	11288
Gesamt	24623	360	11672	41553	78208

Tabelle 2:
Ergebnisse des Follow-Up in der Internationalen Auswertung

Vitalstatus	Cockpit		Kabine		Gesamt
	Männer	Frauen	Männer	Frauen	
Lebend	20838	311	9591	36576	67316
Verstorben	1930	4	1215	1258	4407
Lost to follow-up / unbekannt	320	5	226	784	1335
Verzogen ins Ausland	1535	40	640	2935	5150
Gesamt	24623	360	11672	41553	78208

5.2 EXTERNER VERGLEICH (SMR-ANALYSE)

5.2.1 Cockpitpersonal

Standardisierte Mortalitäts-Ratios (SMR) für alle Todesursachen zusammen sind deutlich erniedrigt (SMR = 0,54; 95%-KI: 0,51 - 0,56), was auf einen starken „Healthy Worker Effect“ deutet. Erniedrigt sind ebenso SMR für Krebstodesursachen (SMR = 0,68; 95%-KI: 0,62 - 0,75). Die SMR für strahlenassoziierte Krebsarten (SMR = 0,71; 95%-KI: 0,59 - 0,86) unterschied sich kaum von derjenigen für andere Krebsarten (SMR = 0,67; 95%-KI: 0,60 - 0,75). Neben der Lungenkrebssterblichkeit (SMR = 0,41; 95%-KI: 0,33 - 0,52) war auch die Sterblichkeit an Mundhöhlen/Rachenkrebs (SMR = 0,19; 95%-KI: 0,09 - 0,37) besonders niedrig gegenüber der Vergleichsbevölkerung.

Erhöhte, aber nicht signifikante SMR fanden wir für das maligne Melanom (SMR = 1,48; 95%-KI: 0,88 - 2,35; n = 24), Prostata-Karzinome (SMR = 1,30; 95%-KI: 0,99 - 1,69; n = 81), ZNS-Tumore (SMR = 1,11; 95%-KI: 0,75 - 1,59; n = 41), im Gegensatz zur deutschen Kohorte nicht aber für Pankreaskrebs, Hodenkrebs oder Non-Hodgkin-Lymphome. Bei den Leukämien fanden wir nicht-signifikante Risikominderungen.

Bei den übrigen Todesursachen waren deutlich verminderte SMR für Diabetes (SMR = 0,31; n = 16), zerebrovaskuläre Ursachen (SMR = 0,46; n = 90) und kardiovaskuläre Ursachen (SMR = 0,40; n = 378) zu beobachten. Die SMR für Flugzeugunfälle (n = 127) war deutlich erhöht, aber wegen der Probleme, adäquate Vergleichsdaten zu erlangen, nur wenig aussagekräftig.

5.2.2 Kabinenpersonal, Männer

Die SMR für alle Ursachen ist beim männlichen Kabinenpersonal leicht, aber statistisch signifikant erhöht (SMR = 1,07; 95%-KI: 1,01 - 1,13). Ebenso leicht erhöht, aber nicht statistisch signifikant ist die Krebssterblichkeit (SMR = 1,05; 95%-KI: 0,97 - 1,15). Beides lässt sich zum Teil durch die hohe Mortalität an AIDS (SMR = 14,7; 95%-KI: 1,56 - 18,4) und mit AIDS assoziierten Krankheiten, wie Non-Hodgkin-Lymphomen (SMR = 2,36; 95%-KI: 1,35 - 3,83) und Kaposi-Sarkomen, ggf. als „andere Hauttumoren“ klassifiziert (SMR = 7,64; 95%-KI: 2,62 - 17,40), erklären. Eine statistisch nicht signifikant erhöhte Sterblichkeit ist zu beobachten für Hodentumore (SMR = 1,62; 95%-KI: 0,35 - 4,65; n = 4), Hirn/ZNS-Tumore (SMR = 1,23; 95%-KI: 0,60 - 2,23; n = 14) und Leukämien (SMR = 1,40; 95%-KI: 0,96 - 1,97; n = 30). Wir beobachten keine erhöhte Sterblichkeit an malignen Melanomen (SMR = 1,07; n = 6) oder Prostatakarzinomen (SMR = 0,83; n = 15).

Bei den übrigen Todesursachen waren, wie beim Cockpitpersonal, deutlich verminderte SMR für Diabetes, zerebrovaskuläre Ursachen und kardiovaskuläre Ursachen, und eine deutlich erhöhte SMR für Flugzeugunfälle festzustellen.

5.2.3 Kabinenpersonal, Frauen

Die Gesamtsterblichkeit (SMR = 0,71; 95%-KI: 0,68 - 0,75) und die Krebssterblichkeit (SMR = 0,82; 95%-KI: 0,74 - 0,93) sind, wie beim Cockpitpersonal, signifikant niedriger als diejenigen der Vergleichsbevölkerung, ebenso die Sterblichkeit an nicht strahlenassoziierten Krebsarten (SMR = 0,66; 95%-KI: 0,56 - 0,78). Die Sterblichkeit an strahlenassoziierten Krebsarten liegt dagegen mit derjenigen der Vergleichsbevölkerung gleichauf (SMR = 1,01; 95%-KI: 0,87 - 1,17). Nichtsignifikant erhöht sind die Sterblichkeit an Brustkrebs (SMR = 1,09; 95%-KI: 0,90 - 1,31), Pankreaskrebs (SMR = 1,09; 95%-KI: 0,68 - 1,68), Schilddrüsentumoren (n = 5; SMR = 1,52; 95%-KI: 0,41 - 3,96) und Hodgkin-Lymphomen (n = 6; SMR = 1,24; 95%-KI: 0,38 - 2,98).

Bei den übrigen Todesursachen waren, wie beim Cockpitpersonal und dem männlichen Kabinenpersonal, deutlich verminderte SMR für Diabetes, zerebrovaskuläre Ursachen und kardiovaskuläre. Statistisch nichtsignifikant erhöht war die Sterblichkeit an Suiziden (SMR = 1,24; 95%-KI: 0,95 - 1,59).

5.2.4 Deutsche Teilkohorte

Die Ergebnisse der deutschen Kohorte in Bezug auf SMR decken sich im Wesentlichen mit denjenigen der internationalen Auswertung. Sie wurden bereits publiziert (Zeeb, H., Hammer G. P., Langner, I., Schafft, T., Bennack, S., Blettner, M. (2010). Cancer mortality among German aircrew: second follow-up. *Radiat Environ Biophys* 49: 187-194).

5.3 EXPOSITIONSABSCHÄTZUNG IN DER DEUTSCHEN KOHORTE

Für die Auswertung der Expositionsdaten konnte auf die Kohorteninformation bis Ende 2004 zurückgegriffen werden. Die mediane effektive Dosis/Jahr lag bei 0,91 mSv im Jahr 1960 und stieg bis zum Jahr 2004 auf 2,06 mSv an. Sie nahm somit schneller zu als die durchschnittliche Anzahl der Blockstunden. Diese stiegen im selben Zeitraum im Median von 460 auf 630 Stunden.

Diese Zahlen decken sich mit den vom Strahlenschutzregister publizierten Werten für die jüngste Vergangenheit. Dieser Anstieg ist auf die Nutzung von Jets gegenüber den in früheren Jahren hauptsächlich verwendeten Propellermaschinen mit niedrigerer Flughöhe zurückzuführen. Die kumulative effektive Dosis korreliert stark mit den kumulativen Blockstunden und der Beschäftigungsdauer, trotz insgesamt über die Zeit ansteigender Strahlenexpositionsrate.

5.4 INTERNER VERGLEICH (RR-ANALYSE) IN DER DEUTSCHEN COCKPIT-KOHORTE

In den Risikoauswertungen mit 10 Jahren Latenzzeit beobachteten wir einen signifikanten Trend abnehmender Gesamtmortalität mit zunehmender kumulativer effektiver Dosis (RR per 10 mSv: 0,89, 95%-CI: 0,82 - 0,96) sowie eine abnehmende kardiovaskuläre Sterblichkeit (RR per 10 mSv: 0,83, 95%-CI: 0,69 - 0,99). Die zerebrovaskuläre Sterblichkeit war mit zunehmender Strahlendosis assoziiert (RR per 10 mSv: 0,72, 95%-CI: 0,49 - 1,04).

Das Krebssterberisiko nahm hingegen mit zunehmender kumulativer effektiver Dosis zu; diese Zunahme war allerdings statistisch nicht signifikant (RR per 10 mSv: 1,13, 95%-CI: 0,98 - 1,29). Es zeigten sich hier keine bedeutsamen Unterschiede zwischen dem Risiko für eine Gruppe von Tumoren, für die eine Strahlenverursachung bekannt ist (Speiseröhre, Magen, Dickdarm, Leber, Blase/Harntrakt, Schilddrüse und Leukämien) (RR per 10 mSv: 1,11, 95%-CI: 0,84 - 1,48) sowie allen anderen Tumoren (RR per 10 mSv: 1,13, 95%-CI: 0,97 - 1,32). Diese Ergebnisse sind auf Grund der hohen Korrelation der Strahlenexposition mit der Beschäftigungsdauer und damit anderer berufsbezogenen Faktoren und der unvollständigen Altersadjustierung mit großer Vorsicht zu interpretieren.

5.5 DISKUSSION

In dieser neuen Auswertung mit verlängerten Follow-up und größeren Fallzahlen beobachten wir das gleiche Sterblichkeitsmuster wie bei der ersten Auswertung. Die niedrige Mortalität bei Cockpitcrew und Flugbegleiterinnen ist weiterhin zu einem erheblichen Teil auf den „Healthy Worker Effect“ zurückzuführen. Das Sterberisiko für maligne Melanome und Prostatakarzinome beim Cockpitpersonal sind in unserer Kohorte den neuen Ergebnissen zufolge statistisch nicht signifikant erhöht, ebenso die Sterblichkeit an Brustkrebs beim weiblichen Kabinenpersonal. Um weitere Erkenntnisse über die Risikofaktoren für diese Krebsarten in dieser Kohorte zu gewinnen, wäre die Erhebung weiterer potenzieller Risikofaktoren (Confounder) notwendig, möglichst in Studien zur Krebsinzidenz. Insbesondere relevant sind in dieser Berufsgruppe Störungen des hormonellen Tagesrhythmus, deren Auswirkungen auf das Krebsrisiko von der International Agency for Research on Cancer (IARC) als wahrscheinlich kanzerogen eingestuft wurden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Studie erlaubt zwar eine genauere Charakterisierung der beim Flugpersonal auftretenden Strahlendosen und wegen der längeren Dauer des Follow-up eine präzisere Einschätzung der Krebsmortalität in dieser Berufsgruppe als bisher. Unterschiedliche in Teilgruppen beobachtete erhöhte Risiken für einzelne Tumorlokalisationen ergeben jedoch kein einheitliches Bild und sind wegen des festgestellten engen Zusammenhangs zwischen Beschäftigungsdauer und Strahlenexposition und des möglichen Einflusses nicht berücksichtigter Risikofaktoren, wie z. B. Störungen des hormonellen Tagesrhythmus, schwierig zu interpretieren. Eine Lösung dieser methodischen Probleme ist daher anzustreben.

Thema Recherche zu Art, Aufkommen und Eigenschaften von NORM-Rückständen im Ausland, Abschätzung der Strahlenexposition der Bevölkerung bei der Deponierung bzw. Verwertung			
Subject <i>Investigation on kind, amount and features of NORM residues abroad and assessment of the resulting radiation dose to members of the public due to disposal or reuse</i>			
Kennzeichen 3608S01001	Beginn 21.07.2008	Ende 30.06.2010	Fördermittel EUR 165.851,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln			
Projektleitung S. Feige	Fachbetreuung BfS K. Wichterey / SW 1.2	verantwortlich für den Text S. Feige	

1. ZIELSETZUNG

Im Zusammenhang mit der erforderlichen Erweiterung der Strahlenschutzverordnung (StrSchV) auf möglicherweise im Ausland anfallende und in die Bundesrepublik Deutschland verbrachte NORM-Rückstände ist deutlich geworden, dass hinsichtlich der Prozesse und anfallenden Materialien im Ausland erhebliche Kenntnisdefizite bestehen, die die Regelungsausgestaltung erschweren. Ziel des Vorhabens war es, die notwendigen fachlichen Grundlagen für eine Novellierung der StrlSchV speziell im Teil 3 Kapitel 3 hinsichtlich der notwendigen Erweiterungen des Regelungsbereiches auf im Ausland anfallende und zum Zwecke ihrer Verwertung und/oder Deponierung in die Bundesrepublik Deutschland einzuführende Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) zu schaffen.

Vor dem Hintergrund einer wachsenden Zahl grenzüberschreitender Transporte von Rest- und Abfallstoffen gilt es, durch harmonisierte Kontrollen in den Mitgliedsstaaten einen sicheren und funktionierenden europäischen Binnenmarkt zu gewährleisten. Gleichzeitig muss den strahlenschutzrechtlichen Vorgaben auch bei der Beseitigung oder Verwertung von NORM-Rückständen in Deutschland Rechnung getragen werden. Das Vorhaben verfolgte daher folgende übergeordnete Zielsetzung:

- Die für die erforderliche Erweiterung im Teil 3 Kapitel 3 der StrlSchV auf im Ausland anfallende und in die Bundesrepublik Deutschland verbrachte NORM sind auf Grundlage der deutschen Stoffliste in den EU-Mitgliedsländern und anderen europäischen Staaten zu erfassen, um die bestehenden erheblichen Kenntnisdefizite zu den NORM-Prozessen und den anfallenden Materialien im Ausland zu schließen;
- Zur späteren Präzisierung der Regelungen werden umfassende Kenntnisse über Art, Mengen und Eigenschaften von NORM im europäischen Ausland benötigt. Die im Ausland anfallenden Rückstände sollen erfasst und ihr Potenzial zum Import nach Deutschland bewertet werden;
- Für die so identifizierten Rückstände bzw. Rückstandsgruppen ist die hinsichtlich der von ihnen bei der Deponierung bzw. Verwertung ausgehenden Strahlenexposition von Personen der Bevölkerung bzw. von nicht beruflich strahlenexponierten Arbeitern unter Anwendung der novellierten Fassung der „Berechnungsgrundlagen Bergbau“ (BGIB) zu ermitteln und zu bewerten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Ausgehend von der formulierten übergeordneten Zielsetzung wurden im Rahmen des Vorhabens verschiedene Einzelziele verfolgt:

- Recherche zur gegenwärtigen einzelstaatlichen Umsetzung der Richtlinie 96/29/EURATOM sowie zu adäquaten rechtlichen Regelungen in anderen europäischen Ländern;
- Erfassung von Art, Herkunft und Menge von NORM in allen Staaten der EU und weiteren europäischen Ländern;
- Zusammenführung aller erhobenen Daten und Informationen für im Ausland anfallende NORM in einer temporären projektbezogenen Datenbank;
- Ermittlung der Strahlenexposition von nicht beruflich strahlenexponierten Personen für ausgewählte Szenarien der Beseitigung oder Verwertung von potenziell nach Deutschland einzuführenden NORM.

3. METHODIK

Auf Grund unterschiedlicher Vorgehensweisen bei der Umsetzung der Richtlinie 96/29 EURATOM in den EU-Mitgliedsländern in nationales Recht ist eine direkte Vergleichbarkeit von Art und Menge an NORM, die in den einzelnen EU-Mitgliedsstaaten anfallen, nicht möglich. In den anderen europäischen Ländern sind die Regelungen in Bezug auf natürliche Radioaktivität ebenfalls uneinheitlich oder noch unvollständig. Vor diesem Hintergrund wurde nachfolgendes methodisches Vorgehen in diesem Forschungsvorhaben gewählt:

Die Einfuhr von NORM nach Deutschland wird gegenwärtig und auch zukünftig den deutschen atomrechtlichen Regelungsbereich vorrangig berühren. Die in den EU-Mitgliedsländern und anderen europäischen Staaten anfallenden NORM wurden daher zunächst auf Grundlage der deutschen Stoffliste (StrlSchV, Anlage XII, Teil A) erfasst. Im Vorgriff auf eine Revision der Europäischen Grundnormen zum Strahlenschutz wurden auch die in den Draft Basic Safety Standards (Stand: Februar 2010) genannten NORM-Industrien berücksichtigt.

Da wesentliche Größen einer Expositionsabschätzung primär von den physikalisch-chemischen Eigenschaften der jeweiligen Rückstände bzw. Rückstandsgruppen abhängen, die in Anlage XII Teil A der StrlSchV aufgelisteten Rückstände aber lediglich nach Industriebranchen geordnet sind, wurde nachfolgendes Klassifikationsschema etabliert (Tabelle 1):

Tabelle 1:
Klassifikationsschema zur Erfassung von NORM

UG	Rückstandart mit Beispielen
A	Rückstände aus der Gewinnung und mechanischen Aufbereitung
A1	Haldenmaterial, Nebengestein
A2	Feinstgemahlene (Stäube) Edukte / Produkte (Zirkonsand, Zirkonmehl, Pigmente, Kreiden, Sägestaub)
A3	Schlämme und Feinsande, Flotationsrückstände, Siebsande, aufgemahlene Erze vor Leaching, Bohrschlamm
A4	Mineralische Rohstoffe (Schüttgüter wie Kies/Sand oder Natursteinerzeugnisse), Steine- und Erden, Minerale
A5	Erze (Erze, Seifen, Imprägnierungen) oder organische/fossile Brennstoffe (Braunkohle, Steinkohle, Erdöl, Torf)
B	Rückstände aus chemischen Prozessen
B1	Inkrustierungen an von flüssigen oder gasförmigen Medien durchströmten Betriebsmitteln (Blei-Scales)
B2	Inkrustierungen an von flüssigen oder gasförmigen Medien durchströmten Betriebsmitteln (Sulfat, Carbonat, Silicat-Scales)
B3	Schlämme, Stäube und Fällungsprodukte mit prozessbedingtem Uran-Überschuss (Düngemittel)
B4	Schlämme, Stäube und Fällungsprodukte mit prozessbedingtem Radium-Überschuss (Phosphor-gipse, Tailingschlämme, Rückstände Grubenwasserableitung)
B5	Schlämme, Stäube und Fällungsprodukte mit prozessbedingtem Blei-Überschuss
B6	Sonstige Rückstände aus der selektiven Wasseraufbereitung (standort- oder prozessspezifisch) U-Bergbau, Mineralwasserindustrie, Trinkwasser- und Grubenwasseraufbereitung
B7	Endprodukte der chemischen Industrie (z. B. Phosphorsäure, Extraktionslösungen)
C	Rückstände aus thermischen Prozessen
C1	Stäube, eingeschlammte Stäube und Flugaschen aus Verhüttungsprozessen und Rauchgasreinigung (Theissenschlämme, Gichtgasstäube u. a. aus Kohleverbrennung, Porzellanindustrie, Frittung von Zirkonsand)
C2	Bodenaschen
C3	Metallische Schlacken der Erzverhüttung (einschließlich Guss/Sinter/Formstücke und erwünschter Endprodukte)
C4	Silikatschlacken (einschließlich Guss/Sinter/Formstücke und erwünschter Endprodukte) (Mansfelder Kupferschlacke, Ofenschlacke Verbrennung, Steinwolle (KMF))
C5	Endprodukte thermischer Brenn-, Glasier- und Frittungsprozesse (Ziegel, Kacheln, Feuerfestmaterial, Zement, Schleifmittel)

D	NORM aus nicht näher zu beschreibenden Prozessen
D1	Sonstiges/Kuriosa/gegenwärtig nicht weiter klassifiziert (Feststoffe)
D2	Sonstiges/Kuriosa/gegenwärtig nicht weiter klassifiziert (Flüssigkeiten)

Ziel einer derartigen Klassifikation ist es, aus den jeweiligen Untergruppen entsprechende für Expositionsabschätzungen benötigte Modellparameter und typische Stoffeigenschaften (Standardparameter) abzuleiten. Dies ermöglicht, auch zukünftig NORM-Rückstände gemäß ihrer Genese zuzuordnen und durch einen fortgeführten Betrieb der Datensammlung Standardparameter durch Abgleich mit weiteren gesammelten Daten zu überprüfen sowie die einzelnen Untergruppen des Klassifikationsschemas detaillierter zu beschreiben. Neben Angaben zur Radionuklidkonzentration wurden Informationen z. B. zur Radon-Emanation, zur Eluierbarkeit oder zu typischen Korngrößen hinterlegt. Gleichzeitig wurden die entsprechenden Analoga der Anlage XII Teil A der StrlSchV zugeordnet. Die Erfassung relevanter Stoffdaten erfolgte durch intensive Literaturrecherche.

In einem zweiten Teil des Vorhabens wurden die identifizierten Rückstände bzw. Rückstandsgruppen hinsichtlich der von ihnen bei der Deponierung bzw. Verwertung ausgehenden Strahlenexposition von Personen der Bevölkerung bzw. von nicht beruflich strahlenexponierten Arbeitern bewertet. Weitere berührte Rechtsgebiete, wie insbesondere das europäische und deutsche Abfallrecht wurden ausdrücklich berücksichtigt, da diese grundsätzlich die möglichen Verwertungs- und Beseitigungsoptionen vorgeben. Gleichzeitig werden seitens der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) bzw. der Länderarbeitsgemeinschaft Bergbau (LAB) Stoffeigenschaften für bestimmte Verwertungs- und Beseitigungsoptionen vorgegeben und daher gleichfalls die Definition der Szenarien entscheidend bestimmt.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben wurde in vier Arbeitspaketen über zwei Jahre bearbeitet: Arbeitspaket 1 diente der systematischen Erfassung und Aufbereitung des für die Bearbeitung des Vorhabens relevanten Standes von Wissenschaft und Technik und der fortlaufenden Ergänzung der Literatursammlung.

Arbeitspaket 2 beinhaltete die intensive Recherche zur einzelstaatlichen Umsetzung der Richtlinie 96/29 EU-RATOM in nationales Strahlenschutzrecht der Mitgliedsstaaten bzw. wie sich die Situation in den Nichtmitgliedsstaaten im Vergleich zu dieser Richtlinie darstellt. Hierzu wurden die entsprechenden nationalen Regelungen identifiziert, beschafft und in Bezug auf die Art und Weise der Erfassung und Einordnung von NORM in die nationalen Rechtsvorschriften und nachgeordneten Regelwerke vergleichend bewertet.

In Arbeitspaket 3 erfolgten der Aufbau bzw. die Aktualisierung des Kenntnisstandes zu NORM-Prozessen sowie die Erfassung von Art und Menge an NORM im europäischen Ausland. Die Identifikation von Materialien mit erhöhtem Gehalt natürlicher Radionuklide umfasste dabei folgende Kriterien:

- Charakterisierung des betrachteten Industriezweiges sowie Identifikation der Verursacher im Herkunftsland;
- Erfassung der typischen technischen Prozesse, die zur Bildung von NORM führen (Gewinnung/mechanische Aufbereitung, chemische oder thermische Prozesse);
- Erfassung der Art von Roh-, Zwischen-, End- und Abfallprodukten mit erhöhtem Gehalt natürlicher Radionuklide und Charakterisierung in Bezug auf Radionuklidgehalt bzw. Radionuklidvektor und physikalisch-chemische Eigenschaften;
- Erfassung des Potenzials der Einfuhr entsprechender Roh-, Zwischen-, End- und Abfallprodukte nach Deutschland zum Zwecke der Verwertung mit anschließender Beseitigung oder ausschließlich zur Beseitigung.

Basierend auf den Ergebnissen der vorherigen Arbeitspakete wurde in Arbeitspaket 4 eine Abschätzung der Strahlenexposition von Personen der Bevölkerung und Arbeitnehmern bei Deponierung oder Verwertung von NORM vorgenommen.

Zu Beginn des Vorhabens wurde eine modulare, temporäre Projektdatenbank (NORM-DB) aufgebaut, die die erhobenen Daten und Informationen in drei untereinander vernetzte Module (Modul 1: Kontaktdatenbank, Modul 2: Literaturdatenbank NORM-Library, Modul 3: NORM-Stoffdatenbank) aufnimmt. Nach Recherche bezüglich Fertiglösungen fiel die Grundsatzentscheidung zugunsten einer Microsoft Access-basierten Eigenentwicklung, da spezifische Anforderungen an das Datenmanagement zu erfüllen waren: Neben der Speicher-

zung und Auswertung der für die EU-Mitgliedsländer recherchierten Daten und Informationen musste eine Vernetzung von Institutionen, Publikationen und NORM-Stoffdaten ermöglicht werden. Darüber hinaus war der Export von selektierbaren dosisrelevanten Informationen aus der Datenbank für Dosisberechnungen zu realisieren. Die Client-Server basierte Datenbank wird seit Anfang 2009 im Intranet der GRS betrieben.

5. ERGEBNISSE

Die systematische Erfassung und Aufbereitung des für die Bearbeitung des Vorhabens relevanten Standes von Wissenschaft und Technik und eine fortlaufenden Ergänzung der Literatursammlung hat zu einem umfassenden Überblick zu bereits erfolgten und gegenwärtigen Arbeiten in den einzelnen Ländern geführt. Als wesentliches Ergebnis wurde eine fortschreibungsfähige NORM-Datenbank realisiert. Diese beinhaltet neben einer aktuellen Zusammenstellung der nationalen Kontaktpunkte aus Behörden, Industrie und Forschungseinrichtungen mit Relevanz zum Thema eine umfangreiche Sammlung relevanter rezenter Publikationen. Gegenwärtig sind in der NORM-DB knapp 600 Dokumente erfasst und indiziert. Die erfasste Literatur wurde bzw. wird kontinuierlich ausgewertet und die so erlangten Kenntnisse über NORM-Stoffe der Datenbank hinzugefügt. Nach Auswertung der zahlreichen Literaturstellen und Validierung der Daten beinhaltet das Modul „NORM-Stoffdatenbank“ gegenwärtig Daten zu etwa 1.300 Einzelproben von etwa 530 in der Literatur erwähnten NORM-Stoff-Nennungen mit insgesamt über 6.000 hinterlegten Messwerten. Zahlreiche Filterfunktionen ermöglichen es, durch entsprechend verknüpfte Abfragen bei Fragestellungen zu einzelnen NORM-Informationen zu den Stoffcharakteristika, den Herkunftsländern oder den Verursachern bei gleichzeitigem direkten Zugriff auf die zugrunde liegende Literatur bereitzustellen. Weitere Elemente der komfortablen Benutzeroberfläche sind Stichwort- und Autorensuche sowie verschiedene Ergebnisansichten.

Zukünftig können fortlaufend NORM-Rückstände in die NORM-DB aufgenommen werden und die Kenntnisse über NORM im In- und Ausland systematisch ergänzt werden. Die in der NORM-DB enthaltene Literaturdatenbank bietet die Möglichkeit, auch in Zukunft Veröffentlichungen zum Thema zu erfassen, zu indizieren und über entsprechende Abfrage den Benutzern verfügbar zu machen. Die bundesdeutschen Bewertungsmaßstäbe und Regelwerke in Bezug auf NORM wurden im Vergleich zu den EU-weiten Herangehensweisen eingeordnet.

Zur Berechnung der Strahlenexposition für Personen der Bevölkerung und nicht beruflich strahlenexponierter Arbeiter bei der Deponierung oder Verwertung von NORM-Stoffen und für die Berechnung der Freisetzung von Radionukliden aus überwachungsbedürftigen Rückständen sowie die Ausbreitung von Radionukliden über den Luftpfad wurde die novellierte Fassung der „Berechnungsgrundlagen Bergbau“ (BGIB) angewendet. Für die Ermittlung der Radionuklidausbreitung über den Wasserpfad wurde das „Deponiemodell“, welches der Ermittlung der Überwachungsgrenzen der StrlSchV zu Grunde liegt, verwendet.

Die Überwachungsgrenzen in Anlage XII Teil B für Rückstände nach Anlage XII Teil A bzw. die Aktivitätsmittelwerte in Anlage XII Teil C der StrlSchV basieren auf Expositionsberechnungen, wonach die jeweilige Überwachungsgrenze bzw. die damit verbundenen Einschränkungen sowohl für die Verwertung als auch die Beseitigung gelten. Dabei wurden die Überwachungsgrenzen jeweils von den ungünstigsten Bedingungen einer Option (z. B. Auslaugbarkeit von Radionukliden aus den Rückständen, keine natürlichen oder künstlichen Barrieren zur Verringerung der Radionuklidausbreitung über das Grundwasser, keine Zutrittsverhinderung zu den betreffenden Flächen/Objekten) abgeleitet. Aus dieser Vorgehensweise resultierten Überwachungsgrenzen < 1 Bq/g, die gleichermaßen für eine Art der Verwertung und die adäquate Art der Beseitigung gelten, da für beide Fälle identische Modellannahmen zum dominierenden Wasserpfad getroffen wurden.

Nach dem Entwurf der neuen EU Basic Safety Standards soll es zukünftig nur noch eine Überwachungsgrenze von 1 Bq/g für jedes langlebige Nuklid der U-Ra-Reihe und der Th-Reihe (für Pb-210 und Po-210 höher, je nach Umsetzung in nationales Recht) geben. Das kann theoretisch bei Anwendung der Rechenmethode nach StrSchV bei Szenarien mit Dominanz des Wasserpfades zur (rechnerischen) Überschreitung der korrespondierenden Dosis von 1 mSv/a für Personen der Bevölkerung bis etwa Faktor 5 führen.

Im beschriebenen Vorhaben wurden die Modellannahmen dahingehend modifiziert, dass insbesondere auch abfallrechtliche, wasserrechtliche und baurechtliche Randbedingungen berücksichtigt wurden. Damit relativierte sich der für Personen der Bevölkerung dominierende Wasserpfad für verschiedene Expositionsszenarien. Außerdem wurde von dem abfallrechtlichen Grundprinzip ausgegangen, wonach eine Verwertung von Abfällen Vorrang vor deren Deponierung hat. Dieses Grundprinzip gilt auch für alle aus der Strahlenschutzüberwachung entlassenen NORM-Rückstände, die dann konventionelle Abfälle sind. Damit verbunden sind Anforderungen an die „Ungefährlichkeit“ eines Abfalls, d. h. dass aus dessen Verwertung oder Deponierung insbesondere keine Gefährdung für das Schutzgut „Grundwasser“ aber auch anderer sensibler Schutzgüter

ausgehen darf. Für den jeweiligen Verwertungszweck gelten Werte der maximalen Schadstoffkonzentration und deren Eluatkonzentrationen (Zuordnungswerte Z). Mit zunehmendem Zuordnungswert steigen die Anforderungen an die Art der Verwertung, um Grundwasserkontaminationen oder eine Beeinträchtigung anderer sensibler Schutzgüter zu vermeiden. Bei Überschreitung der Zuordnungswerte Z2 ist nur noch die Deponierung des betreffenden Abfalls auf einer geordneten Abfalldeponie zulässig. Bei der Deponierung gelten dann spezielle, in technischen Normen vorgegebene Anforderungen an die Barrierensysteme, die für die Deponie-Klassen DK I, DK II und DK III zunehmend strenger werden.

Unter diesen Bedingungen scheidet eine Vielzahl von NORM-Rückständen insbesondere für die Optionen der Verwertung aus, da sie die hierfür erforderlichen stofflichen Anforderungen (Zuordnungswerte) nicht erfüllen. Das betrifft alle Bergematerialien, Rückstände der Erzaufbereitung (Sande) und Mineralien. Demgegenüber ist ihre Deponierung auf einer geordneten Abfalldeponie auch aus radiologischer Sicht unproblematisch, da auf Grund der Anforderungen an die Abdichtung einer Deponie der Schadstoffaustrag in das Grundwasser unterbunden ist. Ebenso entfallen auch die angenommenen Expositionen beim Aufenthalt auf einer „Halde/Deponie“, da eine Deponie im abfallrechtlichen Sinne für Dritte unzugänglich sein muss. Da alle Überwachungsgrenzen C nach Anlage XII Teil B der StrlSchV, die < 1 Bq/g betragen, aus dem zugrundeliegenden Bevölkerungsszenario unter der Annahme abgeleitet wurden, dass eine Deponierung ebenso wie eine Verwertung auch außerhalb einer geordneten Deponie - außer Deponieklasse DK 0 - möglich ist, betreffen die reduzierten Überwachungsgrenzen de facto nur die Verwertung.

Die in diesem Vorhaben definierten Expositionsszenarien und die Auswahl der relevanten Expositionspfade unter Berücksichtigung der o. g. Randbedingungen und Materialeigenschaften (insbesondere Eluierbarkeit) zeigen, dass eine Überschreitung des Dosisrichtwertes von 1 mSv/a bei einer spezifischen Aktivität von 1 Bq/g (pro Nuklid) und auch bei einer spezifischen Aktivität von 10 Bq/g von Pb 210 und Po 210 bei den analysierten Optionen der Beseitigung nicht festgestellt werden konnte.

Im Entwurf der Novelle der StrlSchV soll die Einfuhr von Rückständen gemäß Anlage XII Teil A zum Zwecke der Beseitigung in Deutschland nicht zulässig sein, womit aber nicht alle im Ausland anfallenden NORM erfasst werden.

Ein anderes Bild ergibt sich für die Optionen der Verwertung von NORM-Rückständen. Für im Ausland aus dem nationalen Strahlenschutzrecht entlassene importierte Abfälle sind Überwachungsgrenzen < 1 Bq/g nicht mehr kontrollierbar. Lediglich die konventionellen Parameter der mit einem entsprechenden Abfallschlüssel versehenen Abfälle werden dokumentiert. Die Art und der Ort der weiteren Verwendung sind dann nicht mehr hinsichtlich der Einschränkungen nach Anlage XII Teil B Nr. 2. und Nr. 5. der StrlSchV bei einer „...Verwertung im Straßen-, Wege-, Landschafts- oder Wasserbau auch im Bereich von Sport- und Spielplätzen...“, die mit niedrigeren Überwachungsgrenzen verbunden sind, überprüfbar.

Für Verwertungsoptionen, die sich aus dem Abfallrecht (z. B. Deponiebau) und/oder Bergrecht (z. B. Bergver-satz) ergeben, erfüllen aber viele der erfassten und potenziell für diesen Zweck importierbaren NORM nicht die erforderlichen Zuordnungsmerkmale Z0 bis Z2 sowie andere Materialeigenschaften und scheiden daher für einen Import aus. Darüber hinaus liegen die Messwerte der spezifischen Aktivität von Rückständen aus dem Ausland, die potenziell einem der beschriebenen Verwertungsverfahren zugeführt werden können, deutlich unterhalb von 1 Bq/g. Es kann aber derzeit nicht ausgeschlossen werden, dass ein im Ausland aus der Strahlenschutzüberwachung entlassener NORM-Rückstand mit einer spezifischen Aktivität von knapp unter 1 Bq/g einer Verwertung in Deutschland vor allem als Baustoff oder Bauzuschlagsstoff zugeführt wird, wofür eine Überwachungsgrenze von C = 0,5 Bq/g gelten würde. Am zugehörigen Abfallschlüssel ist nämlich nicht erkennbar, dass er erhöhte natürliche Radioaktivität aufweist, da das kein Prüfkriterium im Sinne des konventionellen Abfallrechts bzw. Baurechts ist.

Gleichzeitig muss bemerkt werden, dass die vorgesehene Novellierung der StrlSchV die Liste der überwachungsbedürftige Rückstände nach Anlage XII, Teil A gleichermaßen auch auf die im Ausland angefallenen und zum Zwecke der Verwertung ins Inland verbrachten Rückstände anwendet und deren Verwertung daher auch in Zukunft durch das deutsche Strahlenschutzrecht geregelt bleibt. Rückstände, die nicht Rückstände im Sinne der StrlSchV, Anlage XII Teil A sind, werden wiederum hiervon nicht berührt.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens geben einen umfassenden Überblick zu den in Europa anfallenden NORM-Rückständen mit Exportpotenzial nach Deutschland und zur Einstufung von NORM in den einzelnen Ländern durch Analyse des Standes der Umsetzung der EU-Grundnormen in diesem Bereich. So erlauben die Angaben zur Herkunft der Rückstände und zu ihren spezifischen Aktivitäten eine Charakterisierung

ihrer zu erwartenden Eigenschaften und der von ihnen ausgehenden möglichen Gefährdungen. Da sich aus den Expositionsabschätzungen bei Beachtung der gesetzlichen Randbedingungen aus anderen Rechtsbereichen keine Überschreitung des zulässigen Dosiswertes abzeichnet, ist eine Beschränkung bei NORM-Importen aus Gründen des Strahlenschutzes nicht erforderlich. Die Liste der überwachungsbedürftigen Rückstände zur Verwertung und Beseitigung in der Strahlenschutzverordnung muss im Ergebnis dieser Prüfungen nicht erweitert werden. Damit ist für die Frage der Importe von NORM die erforderliche Sicherheit im Vollzug der Verordnung geschaffen worden.

Letzte verbleibende Unsicherheiten hinsichtlich einer möglichen Verwendung von nicht deklarierten NORM aus dem Ausland als Zuschlag in Baumaterialien werden beseitigt, wenn die geplante Umsetzung des Entwurfs der neuen EU-Grundnormen in der aktuell vorliegenden Form erfolgt.

Thema			
Untersuchungen zu singulären Radonfreisetzungen aus bergbaulichen Hinterlassenschaften und ihre Auswirkungen auf die Radonkonzentration im Freien			
Subject			
<i>Investigations of singular releases of radon from mining residues and their impact on outdoor radon</i>			
Kennzeichen 3609S10005	Beginn 01.05.2009	Ende 31.08.2010	Fördermittel EUR 92.138,-
Forschungs- / Auftragnehmer G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg			
Projektleitung Dr. R. Kahnt	Fachbetreuung BfS M. Kümmerl / SW 1.2	verantwortlich für den Text M. Martin, Dr. R. Kahnt	

1. ZIELSETZUNG

Die Ermittlung der Strahlenexposition durch radioaktive Altlasten ist stets auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik durchzuführen. Hier hat sich in den letzten Jahren gezeigt, dass atmosphärische Radonfreisetzungen aus flächenhaften bergbaulichen Hinterlassenschaften, wie z. B. Halden, in deren unmittelbarem Umfeld zu hohen Strahlenexpositionen für Einzelpersonen der Bevölkerung führen können, für die insbesondere die im Haldenfußbereich beobachteten hohen Radonkonzentrationen verantwortlich sind. Die Prozesse, die letztlich zu diesen unerwartet hohen Radonkonzentrationen im Nahbereich beitragen können, sind hauptsächlich das Ergebnis singulärer, d. h. räumlich und zeitlich begrenzter Radonfreisetzungen, die auf konvektive Transportvorgänge im Haldenkörper zurückzuführen sind. Das Ziel des Vorhabens bestand darin, auf der Basis experimenteller zeitaufgelöster Untersuchungen der Radonfreisetzung und der atmosphärischen Ausbreitung die Entstehung der hohen Radonkonzentrationen im Nahbereich von Halden zu erklären. Darauf aufbauend sollten Lösungswege zur Modellierung und insbesondere zur Vorgehensweise bei der Bewertung des „Radonpfades“ aufgezeigt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 RADONFREISETZUNG

An Halden des Uranbergbaus wurden Messungen der Radonfreisetzung in die Atmosphäre (Radonexhalation) durchgeführt, um diese als Radonquelle zu charakterisieren.

2.2 RADONAUSSBREITUNG

Die lokal begrenzten Radonfreisetzungen, unter sommerlichen Wetterbedingungen insbesondere am Haldenfuß, können durch Kaltluftabflüsse, insbesondere in Hanglagen, zu sehr stark erhöhten Konzentrationen im Abstand von mehreren hundert Metern vom Haldenfuß führen. Dies tritt insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen auf. Es sollen daher während solcher Bedingungen relevante meteorologische, topographische und weitere, den Radontransport beeinflussende Parameter erfasst werden.

3. METHODIK

Als Untersuchungsobjekte wurden im Raum Johanngeorgenstadt die Dammhalde Steinsee wegen ihrer einfachen Geometrie und die Dammhalde Trockenbecken wegen ihrer Relevanz für umliegende Wohnbebauung und des bestehenden hohen Untersuchungsgrades als Untersuchungsobjekte ausgewählt (Abbildung 1).

Sowohl Radonfreisetzung aus Halden als auch Radonausbreitung infolge von Kaltluftabflüssen weisen Zeitskalen im Bereich von Minuten bis Stunden auf. Daher kamen für die Messung der Radonkonzentration in der Luft nur Geräte mit entsprechender zeitlicher Auflösung in Betracht. Eingesetzt wurden Geräte der Typen „Alpha Guard“ und „Alpha Scout“ mit Messbereichen von 10 min und 1 h. Die Messungen wurden in einer Höhe

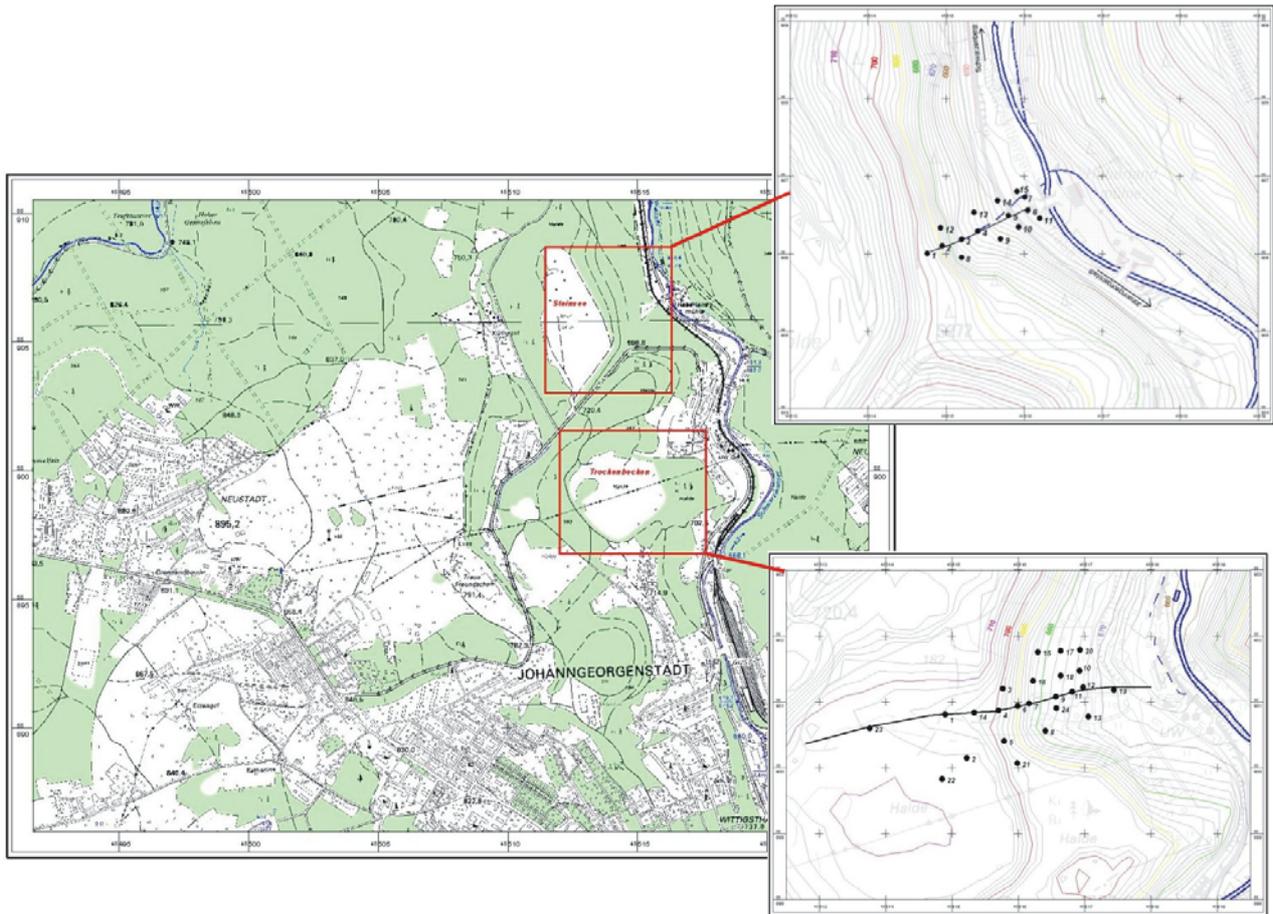


Abbildung 1:
Übersicht über die Untersuchungsobjekte und Messpunktanordnungen

von 25 cm über dem Boden entlang eines Hauptprofils und ergänzend an Nebenprofilen vorgenommen. Zur Ermittlung der Radonexhalation aus den Halden kam eine Exhalationsbox mit „Alpha Guard“ zum Einsatz.

Die Wetterverhältnisse wurden während der Messzeiträume durch eine Wetterstation mit Datenfernübertragung erfasst. Zur flächen- und höhenmäßigen Messung der Lufttemperatur kamen Temperaturdatenlogger zum Einsatz.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung der angestrebten Untersuchungen zu Kaltluftabflüssen ist an spezielle meteorologische Bedingungen gebunden (sommerliche Bedingungen, austauscharme Wetterlage, Strahlungsnacht), die im Zeitraum Juli-September 2009 nur vereinzelt auftraten. Messungen wurden in den Zeiträumen 20.-21.08.2009 (20.08.2009 mit den höchsten Temperaturen des gesamten Jahres) und 15.-18.09.2009 (andauernde Hochdrucklage mit mittleren Temperaturen) durchgeführt.

Die Messung der Radonkonzentration erfolgte auf Profilen, die in Strömungsrichtung potenzieller Kaltluftabflüsse vom jeweiligen Haldenplateau über den Haldenfuß bis 100-200 m ins Vorfeld der Halde gelegt wurden. Parallel dazu wurde die Lufttemperatur entlang des Profils in 0,25 cm und 2 m Höhe gemessen. Weitere Temperaturmessungen erfolgten parallel zu den jeweiligen Hauptprofilen.

5. ERGEBNISSE

5.1 MESSWERTE

Auf Grund der bekannten abwärts gerichteten Konvektion in den Halden zeigten die Messergebnisse allgemein starke Radonexhalationen, die auf einen schmalen Streifen entlang des jeweiligen Haldenfußes konzentriert waren.

Kaltluftabflüsse wurden durch zeitlich begrenzte extreme Radonkonzentrationen im Abstrombereich der Halden nachgewiesen, die in den Abend- und Nachtstunden auftraten. An der Dammhalden Steinsee wurden in ca. 150 m Entfernung vom Haldenfuß Konzentrationen bis zu 20 Bq/m³ Rn-222 gemessen.

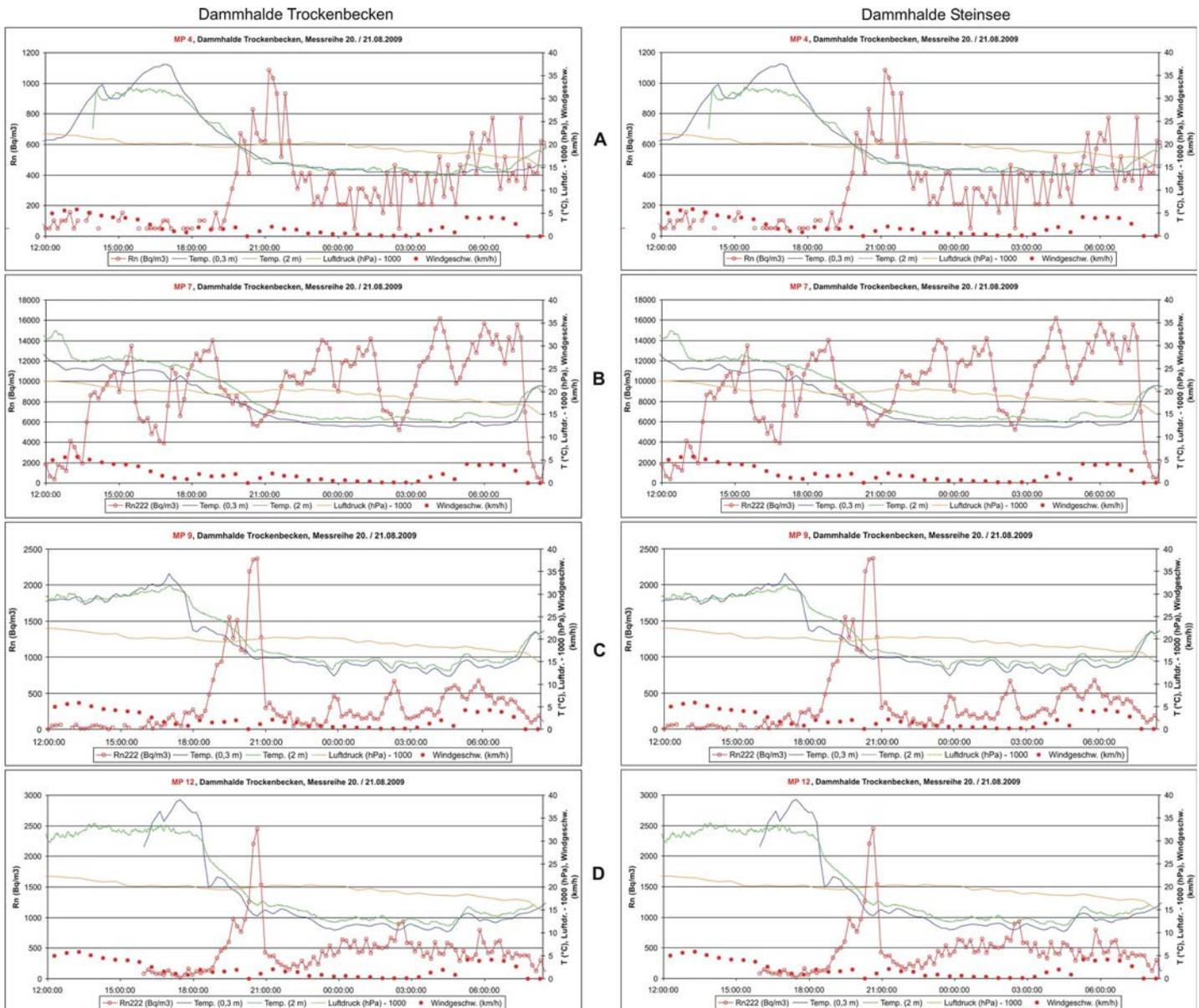


Abbildung 2:
Messwertübersicht Profile Trockenbecken und Steinsee (A - Anstrom, B - Haldenfuß, C - naher Abstrom, D - fernerer Abstrom)

5.2 INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

Die beiden durchgeführten Messkampagnen zeigten hinsichtlich der Exhalationen am Haldenfuß eine unterschiedliche Charakteristik. An der Dammhalde Trockenbecken war ein normales Verhalten zu beobachten, d. h. es traten über den gesamten Zeitraum relativ gleichmäßige Exhalationen auf. An der Dammhalde Steinsee hingegen war nur in den Nachtstunden ein solches normales Verhalten festzustellen. Tagsüber, wenn die höchsten Radonkonzentrationen in geringer Höhe über dem Haldenfuß zu erwarten gewesen wären, gingen diese stark zurück.

An beiden untersuchten Halden wurden Kaltluftabflüsse nachgewiesen. Die Wirkung dieser Abflüsse ist in Richtung der Hangneigung gerichtet. Zeitweise kommt es im Vorfeld der Halden (bis >100 m Entfernung) zu extrem hohen Radonkonzentrationen. Diese lassen sich kausal den Kaltluftabflüssen zuordnen.

Für das Auftreten von Kaltluftabflüssen müssen 2 Bedingungen erfüllt sein:

- sinkende Temperaturen,
- positiver vertikaler Temperaturgradient ($T(2\text{ m}) > T(0,2\text{ m})$).

Diese Bedingungen sind nur bei Abkühlung der Luft, insbesondere abends/nachts gegeben. Die Kaltluftabflüsse treten dabei sowohl kurzzeitig (Messung am Trockenbecken) als auch über längere Zeiträume (Messung am Steinsee) auf.

Eine zeitliche Auflösung des Beginns der Kaltluftabflüsse ist mit den verfügbaren Messgeräten nicht möglich, da das Integrationsintervall minimal 10 min lang ist, die Kaltluftgeschwindigkeit aber im Bereich m/s, entsprechend 100 m/min, liegt.

Eine weitere bedeutende Schlussfolgerung ist, dass Kaltluftabflüsse nicht auf hohe Tagestemperaturen mit anschließender Strahlungsnacht beschränkt sind, sondern auch bei kühler Witterung auftreten können (Messung Steinsee). Die Haupttriebkraft der KL-Abflüsse sind der vertikale Temperaturgradient ($T(2\text{ m}) > T(0,2\text{ m})$) und die Hangneigung. Daher sind Kaltluftabflüsse bei starker Hangneigung auch bei kleinen Temperaturdifferenzen möglich und daher auch bei relativ kühlen Wetterlagen.

5.3 MODELLIERUNG

5.3.1 Grundlage

Mit den gemessenen Werten wurden Untersuchungen zur Modellierung durchgeführt. Dazu wurden zunächst die bestimmenden physikalischen Prozesse identifiziert:

- Halde als Radonquelle mit konvektiver Radonfreisetzung und
- Transport des freigesetzten Radons innerhalb von Kaltluftabflüssen talwärts zu den Immissionspunkten im Abstrom.

Diese wurden in 2 Teilmodellen abgebildet und über die meteorologischen Randbedingungen (Wetterstatistik) miteinander gekoppelt. Die freie Konvektion in der Halde wird dabei durch Temperaturunterschiede innen - außen getrieben, die Kaltluftabflüsse im Haldenabstrom durch Kaltluftbildung infolge Abstrahlung bei abnehmenden Temperaturen.

Die Modelle wurden mit der Modellsoftware GoldSim erstellt. Um die Wirkungsweise der dargestellten Prozesse und Ansätze zu demonstrieren wurden Beispielrechnungen unter vereinfachten, d. h. generischen klimatischen Randbedingungen durchgeführt. Dabei zeigte sich an der Exhalationsrate, dass eine erhöhte Exhalation in solchen Zeiträumen zu erwarten ist, wenn vorher keine Durchströmung stattgefunden hat und sich im Haldeninneren eine hohe Aktivitätskonzentration aufbauen konnte. Dies bedeutet, dass unter der Annahme guter Durchströmungsbedingungen die aktuell austretende Radonaktivitätskonzentration in hohem Maße von der Vorgeschichte der Durchströmung der letzten Tage abhängig ist.

Trotz der zeitlich variablen mittleren Haldendurchströmungsgeschwindigkeiten und der resultierenden Abhängigkeiten der Konzentration ist die Exhalationsrate nahezu konstant. Im Ergebnis der generischen Berechnungen konnte die Hypothese bestätigt werden, dass die konvektiv dominierte Exhalationsrate zumindest für stationäre klimatische Bedingungen (konstante Temperatur) in weiten Bereichen oberhalb eines Schwellenwertes unabhängig von der Korngröße bzw. der Permeabilität ist. Für den Zusammenhang zwischen Korndurchmesser und Permeabilität liegt der Schwellenwert bei ca. 5 mm. Der zugehörige Schwellenwert für die Permeabilität beträgt somit ca. $3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$.

5.3.2 Nachmodellierung der Messkampagnen

Mit dem Modell wurden die beiden durchgeführten Messkampagnen nachmodelliert. Dabei sollte geprüft werden, ob das am realen Objekt beobachtete Verhalten mit dem Modellansatz erfasst werden kann. Weiterhin sollten solche Parameter, die einer repräsentativen Messung nicht zugänglich sind, durch Vergleich der Modellergebnisse mit den Messwerten iterativ angepasst werden. In einem ersten Schritt wurden alle diejenigen Modellparameter belegt, die einer Messung direkt zugänglich waren bzw. die direkt bestimmt worden sind. Danach wurden diejenigen Parameter belegt, die durch Plausibilitätsüberlegungen zugänglich sind bzw. die auf Grund der geringen Sensitivität abgeschätzt werden können.

Das gesamte Modellkonzept konzentriert sich dabei auf den konvektiven Beitrag der Radonexhalation aus der Halde. Es wurde versucht, sämtliche beobachteten Phänomene durch diesen konvektiv bedingten Radonausstrom qualitativ und quantitativ zu erklären.

Im Anschluss daran erfolgt eine Nachmodellierung der Messkampagnen zur Anpassung der restlichen Parameter. Als Kalibrierparameter wurden die repräsentative Radiumaktivität im Bereich der durchströmten Haldenbereiche und die Parameter der turbulenten Diffusion innerhalb des Kaltluftabflusses betrachtet.

Im Ergebnis der Nachmodellierung der Messkampagnen konnte sowohl das qualitative als auch das quantitative Verhalten der gemessenen Radonkonzentration auf der Grundlage der messtechnisch erfassten meteorologischen Randbedingungen modellhaft abgebildet werden.

In einem ersten Schritt wurde für die erste Messkampagne (Trockenbecken) durch Variation der Radiumaktivitätskonzentration die in der Messbox und am Haldenfuß gemessene Konzentration reproduziert. Dabei war zu beachten, dass es sich hierbei um einen effektiven Parameter handelt, da mit diesem Parameter Fehler der Geometrie, insbesondere der Länge des Strömungspfad, überkompensiert werden. Dies scheint insofern akzeptabel, da die tatsächliche repräsentative mittlere Radiumaktivitätskonzentration im gut durchströmten Haldenbereich keiner Messung zugänglich ist.

Im Anschluss daran wurde der Parameter für die Turbulenzdiffusion am ersten Standort bestimmt, der die Abstromkonzentrationen am besten abbildet.

Für den zweiten Standort (Steinsee) wurden dann die standortspezifischen geometrischen und topologischen Parameter im Modell verwendet und wiederum die Radiumaktivitätskonzentration variiert, um die gemessenen Konzentrationen in der Messbox und am Haldenfuß zu reproduzieren. Der Parameter für die Turbulenzdiffusion wurde bei dem am Trockenbecken gefundenen Wert belassen.

Nachdem die Messkampagnen anhand der klimatischen Bedingungen gewissermaßen zur Kalibrierung des Modells dienten, wurden mit den Wetterdaten des Jahres 2009 rückwirkende Prognosen für die zeitliche Entwicklung der Radonaktivitätskonzentration am Haldenfuß, auf dem Haldenplateau und im Abstrom erstellt. Dabei konnte zunächst ein plausibles Verhalten reproduziert werden.

Zudem wurde der zeitliche Verlauf der Radonexhalationsraten für den konvektiven Anteil der Exhalation für den Haldenfuß als auch für das Haldenplateau quantifiziert. Dabei zeigen sich zwar einerseits sehr große Fluktuationen die jedoch ihrerseits um nahezu konstante mittlere Exhalationsraten schwanken. Dieses Verhalten erscheint qualitativ plausibel. Da die Größenordnung der berechneten konvektiv bedingten Exhalationsraten nicht mit aus bisherigen Messungen bekannten Werten übereinstimmt, sondern diese um einen Faktor von etwa einer Größenordnung übersteigt, wurde abgeschätzt, ob mit den verwendeten Verfahren der konvektive Anteil der Radonexhalation messtechnisch belastbar erfasst werden kann. Dazu wurde die zeitliche Entwicklung der Radonkonzentration in der eingesetzten Messbox modelliert. Im Ergebnis einer Vielzahl von Modellierungen bei geänderten Parametern wurde festgestellt, dass der konvektive Anteil der Radonexhalation mit der verwendeten Methode nur bis zu einer mittleren Volumenstromdichte von etwa maximal $1 \dots 5 \cdot 10^{-4}$ m/s bestimmt werden kann. Dies hat zwei Ursachen: Einerseits ist die mit den eingesetzten Messgeräten verwendete zeitliche Auflösung von 10 Minuten zu gering, um konvektive Beiträge zur Exhalationsrate bestimmen zu können, die aus höheren Geschwindigkeiten resultieren. Andererseits stellt sich bei geöffneter Klappe kein klar definierter Zustand in der Box ein. Der Prozess der molekularen Diffusion ist bei konvektiver Nachlieferung zu schwach, um die Konzentration in der Box signifikant zu reduzieren. Hingegen ist die Wirkung der Luftbewegungen außerhalb der Box auf die Durchmischung der Box nicht quantifizierbar. Damit entsteht bei geöffnetem Deckel ein nicht definierter Konzentrationszustand.

Um diesen offensichtlichen Widerspruch zwischen gemessener und modellierter Radonexhalationsrate einzuordnen, wurde die Exhalationsrate durch konzeptionell stark vereinfachte Abschätzungen unabhängig vom numerischen Modell bestimmt. Anhand dieser Abschätzungen wurde einerseits deutlich, dass die mit dem Modell bestimmten Exhalationsraten durchaus plausibel sind. Andererseits wurden auch die Sensitivität der

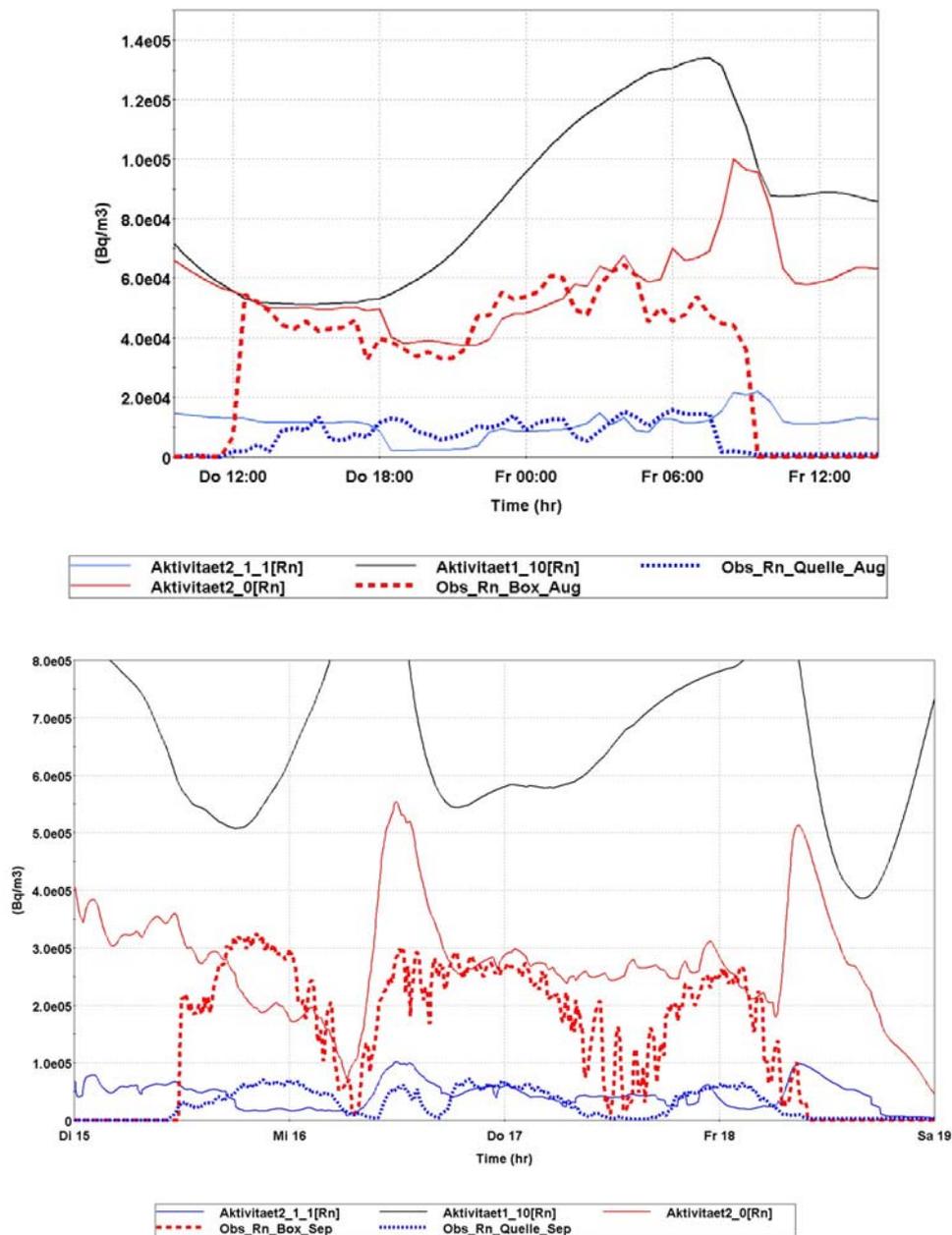


Abbildung 3:
Vergleich der modellierten (durchgezogene Linien) Radonaktivitätskonzentrationen am Haldenfuß (blau) und in der Messbox (rot) im Vergleich zu den jeweiligen Messwerten (gepunktet)

Exhalationsrate gegenüber einer Reihe von Annahmen zu Parametern und die daraus resultierende Bandbreite deutlich.

Schließlich wurde mit den auf der Grundlage der Parametrisierung gefundenen Modellparametern und vorliegenden Tageswerten der klimatischen Daten der Mittelwert der Radonaktivitätskonzentration in Folge der singulären Radonfreisetzung für repräsentative Messpunkte im Abstrom beider Halden berechnet. Dabei ergeben sich über das Jahr gemittelte Radonaktivitätskonzentrationen in Folge der singulären Radonfreisetzung für das Trockenbecken von ca. 340 Bq/m³ und für den Steinsee von ca. 1360 Bq/m³. Diese Werte stimmen in der Größenordnung relativ gut mit langjährig gemessenen Mittelwerten überein. Diese Tatsache ist eine zusätzliche Bestätigung für die getroffenen Annahmen.

5.3.3 Vorläufiges Beurteilungskonzept

Eine wesentliche Zielstellung des Forschungsauftrages bestand darin, eine Methodik zu entwickeln, die es erlaubt, entsprechende Prognosen auch für weitere Standorte bzw. Objekte mit einem vertretbaren Aufwand durchzuführen. Dazu wurde ein entsprechender Vorschlag erarbeitet.

Als Eingangsdaten werden sowohl Standortparameter, als auch Klimadaten benötigt. Die Standortparameter müssen teilweise aus Felduntersuchungen gewonnen werden, teilweise können sie aus topografischen Informationen und Altunterlagen zum Objekt abgeleitet werden. Auf der Grundlage dieser Daten kann dann mit dem dargestellten Modellkonzept eine Prognose für den Zeitverlauf der Konzentration und für die entsprechenden Jahresmittelwerte erfolgen.

5.4 FAZIT

Insgesamt wird eingeschätzt, dass mit den durchgeführten messtechnischen Untersuchungen und den darauf aufbauenden Modellierungen ein erheblicher Beitrag hinsichtlich des Verständnisses der für die hohen gemessenen Radonaktivitätskonzentrationen im Abstrom der Halden verantwortlichen Prozesse geleistet werden konnte. Es wird eingeschätzt, dass mit dem im Rahmen des Projektes entwickelten Modell die ablaufenden Prozesse sowohl qualitativ als auch quantitativ, zumindest in guter Näherung erklärt werden können. Auf der anderen Seite ist allerdings auch festzustellen, dass einige der verwendeten Messprinzipien nicht geeignet sind, bestimmte Schlüsselparameter eindeutig zu bestimmen. Dies gilt insbesondere für die Messung der Exhalationsrate. So hat sich gezeigt, dass einerseits Volumenstromdichten im Bereich von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s nicht auszuschließen sind, andererseits aber durch eine Reihe zusätzlicher Abschätzungen belegt werden kann, dass mit der verwendeten Methodik Volumenstromdichten größer $1 \dots 5 \cdot 10^{-4}$ m/s nicht messbar sind. Aus dieser Situation ergibt sich aus der Sicht der Autoren weiterer Forschungsbedarf insbesondere im Hinblick auf die belastbare Messung des konvektiven Anteils der Exhalationsrate.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das entwickelte Modell stellt eine Möglichkeit dar, die im nahen Umfeld der untersuchten Halden gemessenen hohen Jahresmittelwerte der Radonkonzentrationen in der Freiluft zu erklären und zu prognostizieren. Die bei der Modellierung der Radonimmission als Zwischenergebnis resultierenden Radonexhalationsraten sind allerdings zum Teil sehr hoch und in der Praxis bisher nicht beobachtet worden. Zur Klärung dieser Diskrepanz besteht noch weiterer Forschungsbedarf, für den die bereits vom Auftragnehmer diskutierten Möglichkeiten und Grenzen der experimentellen Bestimmung der Radonexhalationsrate einen wichtigen Ansatz liefern.

Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

Subject area 02
Radiation protection techniques

Thema Retrospektive Dosimetrie in Notfallsituationen für die Bevölkerung			
Subject <i>Retrospective Dosimetry for the population in emergency situations</i>			
Kennzeichen 3607S04560	Beginn 01.09.2007	Ende 31.12.2010	Fördermittel EUR 338.512,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München			
Projektleitung Dr. C. Woda	Fachbetreuung BfS U. Lechel / AG-SG 2.2		verantwortlich für den Text Dr. C. Woda

1. ZIELSETZUNG

Es gibt gegenwärtig keine nicht-invasiven Methoden, um retrospektiv externe Strahlenexpositionen des Menschen zu messen. Daher sollten in diesem Projekt nicht-invasive Methoden zur retrospektiven Dosimetrie für Individuen und Bevölkerungsgruppen nach Notfallsituationen mit Strahlenexpositionen entwickelt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Mittelpunkt des Forschungsvorhabens stand die Entwicklung eines passiven Dosimeters auf der Basis von Materialien mit Lumineszenzeigenschaften, mit dem externe Expositionen oberhalb 10 mGy sicher nachgewiesen werden können. Die Methode zur Analyse des Dosimeters sollte darüber hinaus dahingehend optimiert sein, dass sie höchstens einen Tag in Anspruch nimmt. Im Einzelnen waren dabei folgende Teilaspekte zu bearbeiten.

2.1 ERMITTLUNG VON PERSONENDOSEN AB 10 mGy MIT AM KÖRPER GETRAGENEN PERSÖNLICHEN GEGENSTÄNDEN

Es waren mindestens drei Materialien von am Körper getragenen persönlichen Gegenständen zu ermitteln, die prinzipiell für die Rekonstruktion von individuellen Strahlenexpositionen geeignet sind. Es waren geeignete Methoden zu entwickeln, um an diesen Gegenständen die Bestimmung individueller Dosiswerte ab 10 mGy innerhalb eines Tages zu ermöglichen.

2.2 ENTWICKLUNG EINES WARTUNGSFREIEN LUMINESZENZ-DETEKTORS SAMT RECHENPROGRAMMS

Es war ein wartungsfreier Lumineszenz-Detektor zu entwickeln, welcher präventiv an öffentlichen Gebäuden und Plätzen angebracht werden kann und welcher die Bestimmung von Strahlendosen ab 10 mGy innerhalb eines Tages erlaubt. Es waren mindestens 5 Exemplare zu erstellen und drei Prototypen am Ende des Projektes an das BfS zu überlassen. Es sollte darüber hinaus ein Rechenprogramm zu entwickelt werden, mit dem aus der gemessenen Dosis die Strahlendosis samt Unsicherheit für eine Bevölkerungsgruppe berechnet werden kann. Es waren Fallbeispiele für Kombinationen aus zwei Ereignissen, drei meteorologischen Parametern, zwei Orographien und drei Beispiele der Urbanisierung zu berechnen.

3. METHODIK

Für die Untersuchung der möglichen Materialien von am Körper getragenen Gegenständen kamen Methoden der Thermolumineszenz (TL) und Optisch-Stimulierten Lumineszenz (OSL) am Helmholtz Zentrum München zum Einsatz. Alle Messungen wurden auf Riso-Messgeräten durchgeführt, wie sie auch am Bundesamt für Strahlenschutz zur Verfügung stehen (Riso TL/OSL DA-15 und Riso TL-DA12). Damit ist eine direkte Übertragbarkeit der entwickelten Messprotokolle gewährleistet. Mechanische und chemische Aufbereitung der Proben erfolgte unter Rotlicht und unter Verwendung eines handelsüblichen Filterabzugs.

Die entwickelten Rechenprogramme ermöglichen die Abschätzung der externen Strahlendosis in Abhängigkeit vom Standpunkt einer Person zum Zeitpunkt der Exposition. Es wurden zwei Fälle betrachtet, für die auch zwei Programme entwickelt wurden. Im ersten Fall liegen nur sehr wenig (< 10) Datenpunkte aus den Detektormessungen vor. Hier wurden die von der SSK (Heft 37, 2004) empfohlenen Formeln zur Dosisberechnung herangezogen und deren Parameter mit einem einfachen Fitprogramm angepasst. Sind genügend Datenpunkte vorhanden, lohnt sich eine geostatistische Interpolation. Diese wird mit dem Inhabited Areas Monitoring Module (IAMM) durchgeführt, das als Softwaremodul zur Abschätzung der Umweltkontamination in das Entscheidungshilfesystem JRODOS integriert wurde.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERMITTLUNG VON PERSONENDOSEN AB 10 mGy MIT AM KÖRPER GETRAGENEN PERSÖNLICHEN GEGENSTÄNDEN

4.1.1 Chipkarten als Notfalldosimeter

Auf Grund der bestehenden Kooperation mit Infineon AG stand eine größere Anzahl an Chipkartenmodulen mit einer transparenten Vergussmasse, wie sie aktuell in EC-, Kredit-, Krankenkassen- und SIM-Karten zum Einsatz kommen, für Lumineszenzuntersuchungen zur Verfügung. Gegen Ende des zweiten Projektjahres lieferte Infineon zusätzlich Muster von kontaktbehafteten Chipkartenmodulen mit schwarzer Vergussmasse (sogenannte Module mit Molding), sowie kontaktlose Chipkartenmodule mit einer ähnlichen schwarzen Vergussmasse, die potenziell im elektronischen Reisepass und im elektronischen Personalausweis, der im Herbst 2010 in Deutschland eingeführt wurde, verwendet werden (Abbildung 1). Mit den verschiedenen Typen von Chipkartenmodulen wurden umfangreiche Untersuchungen der dosimetrischen Eigenschaften mittels blauer OSL durchgeführt. Für Chipkartenmodule mit Molding wurde zur Verbesserung der Nachweisgrenze ein geeignetes chemisches Verfahren entwickelt, um das Füllmaterial zu extrahieren und das Messverfahren darauf abgestimmt.



Abbildung 1:

Von links nach rechts: 1) Vorderseite eines typischen kontaktbasierten wire-bond Chipkartenmoduls, wie er bspw. auf EC-Karten zu finden ist. 2) Rückseite desselben Moduls mit einer transparenten Vergussmasse. 3) Rückseite eines kontaktbasierten Moduls mit Molding. 4) Kontaktloses Modul mit Molding für elektronische Ausweise. 5) Aus einem Modul mit Molding extrahiertes Füllmaterial.

An den Chipkartenmodulen mit einer transparenten Vergussmasse wurden weitergehende, grundlegende Untersuchungen zu den Lumineszenzmechanismen und dem Ursprung des Nullsignals durchgeführt. Schließlich wurden gegen Ende des Projektes beliebige nicht mehr benötigte Chipkarten von Mitarbeitern des Helmholtz Zentrum München gesammelt, um die Häufigkeit der für die Dosimetrie geeigneten Chipkartentypen und die Übertragbarkeit der erarbeiteten Messverfahren zu überprüfen.

4.1.2 Tragbare elektronische Geräte als Notfalldosimeter

Untersuchungen wurden an älteren tragbaren elektronischen Geräten, gesammelt von Mitarbeitern des Helmholtz Zentrum Münchens, sowie an neuesten auf dem Markt verfügbaren Geräten durchgeführt. Aufbauend auf einer zu Beginn des Projektes publizierten Arbeit einer kanadischen Forschergruppe zum selben Thema und im regen wissenschaftlichen Austausch mit europäischen Partnerinstitutionen (IRSN in Frankreich, SCK•CEN in Belgien), wurden sämtliche leicht entfernbaren Bauteile von der Platine gelöst und auf ihre Eignung als Strahlendosimeter hin untersucht. In einem ersten Test wurden einem intakten Memorystick mit einer Co-60 Quelle am SCK•CEN eine ‚Unfalldosis‘ von ca. 1 Gy appliziert und diese einige Wochen später im Labor ausgelesen. Die Photonenergieabhängigkeit wurde exemplarisch für ein Mobiltelefon mit Hilfe der Röntgen- und Gammaquellen des Sekundär Standard Dosimetrie Labor des Helmholtz Zentrum Münchens bestimmt.

4.2 ENTWICKLUNG EINES WARTUNGSFREIEN LUMINESZENZDETEKTORS SAMT RECHENPROGRAMM

Für die Auswahl des geeigneten Lumineszenzmaterials wurden die Eigenschaften bekannter TLD/OSLD Materialien aus der Literatur kompiliert und hinsichtlich der Anforderung für den Notfallschutz evaluiert. Nach Festlegung des Materials wurden verschiedene Gehäusedesigns hergestellt und getestet. Für das geeignete Gehäuse wurde die Photonenergieabhängigkeit bestimmt und fünf weitere Prototypen hergestellt, wobei drei an das BfS übergeben werden. Für den Detektorchip wurde ein geeignetes Messprotokoll entwickelt.

Für den Fall weniger Datenpunkte wurde ein Fitprogramm in Fortran geschrieben. Die so erstellte Routine kann als ausführbares Programm kompiliert und dem Auftraggeber mit einer kurzen Dokumentation übergeben werden. Zur geostatistischen Interpolation vieler Datenpunkte wurde das IAMM Modul so erweitert, dass neben Messungen der Dosisrate nun auch Dosismessungen verarbeitet werden können.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERMITTLUNG VON PERSONENDOSEN AB 10 mGy MIT AM KÖRPER GETRAGENEN PERSÖNLICHEN GEGENSTÄNDEN

5.1.1 Chipkarten als Notfalldosimeter

Die Chipkartenmodule mit transparenter Vergussmasse weisen komplexe OSL Eigenschaften auf, auf Grund der vermuteten thermooptisch aktivierten Freisetzung von Elektronen im Epoxidharz und anschließender Diffusion in das Füllmaterial, wo Lumineszenz produziert wird. Es konnte aber im Vergleich zu publizierten Untersuchungen mit TL und IRSL eine deutliche Verbesserung in der Dosismessung erreicht werden. Beste Ergebnisse und höchste Sensitivität wurden durch Messung ohne Vorheizen erzielt. Das Wachstum des OSL Signals ist dann bis 10 Gy fast linear (Sättigungsdosen von 77 Gy, Abb. 2a). Das OSL Signal kann erst bei Temperaturen über 280°C vollständig gelöscht werden, trotzdem wurde eine kontinuierliche Abnahme des Signals bei Lagerung bei Raumtemperatur bis zu 100 Tagen beobachtet (Abb. 2b). Die Fallenparameter der TL Peaks (und assoziierten OSL Signale) weisen ungewöhnlich niedrige Aktivierungsenergien auf, was am ehesten mit dem Modell der direkten Rekombination zu vereinbaren ist. Als Folge könnte sich die Langzeitinstabilität des OSL Signals bei Raumtemperatur als rein thermisches und nicht, wie üblicherweise angenommen, als anomales Fading erklären. Das Fadingverhalten ist näherungsweise unabhängig von der Dosis, womit eine universelle Korrekturkurve erstellt werden kann. Die Auswertungen der Dosismessung nach Lagerung zeigten, dass die applizierten Dosen innerhalb einer Abweichung von 14% bestimmt werden konnten (Abb. 2 c). Die Dosismessung an einer einzelnen Chipkarte kann dabei innerhalb ca. 30 Minuten erfolgen.

Für kontaktbasierte Chipkartenmodule mit Molding konnte ein Messprotokoll entwickelt werden, welches der Erhitzung des Moduls bei der chemischen Aufbereitung Rechnung trägt und mit dem sich applizierte Dosen unmittelbar nach der Bestrahlung erfolgreich auslesen lassen. Allerdings führte die Fadingkorrektur für Dosismessungen nach mehrtägiger Lagerung noch nicht zu einem zufriedenstellenden Ergebnis, so dass hier weiterer Forschungsbedarf besteht. Mehr als die Hälfte der eingesammelten Chipkarten wiesen eine transparente Vergussmasse auf, mit Nachweisgrenzen zwischen 1 und 10 mGy (Abb. 2d). Chipkarten mit einer semi-opaquen schwärzlichen Vergussmasse (kein Molding) sind dagegen für die Dosimetrie ungeeignet. Für Chipkarten mit Molding konnte durch das chemische Aufbereitungsverfahren eine Verbesserung der Nachweisgrenze um einen Faktor 20-40 erreicht werden, bei einem Zeitaufwand von 1-2 Stunden pro 6 Module. Somit eröffnet sich die Möglichkeit, auch elektronische Ausweise in Zukunft als Notfalldosimeter nutzen zu können. Dafür müssen die Lumineszenzeigenschaften kontaktloser Chipkartenmodule aber eingehend untersucht werden.

5.1.2 Tragbare elektronische Geräte als Notfalldosimeter

Bei den elektronischen Komponenten wiesen Widerstände und Vielschicht-Induktivitäten mit einem Aluminiumoxidsubstrat mit Abstand das größte Potenzial als Notfalldosimeter auf. Für nicht exponierte Komponenten konnte kein OSL Signal nachgewiesen werden, während es nach Bestrahlung über vier Größenordnungen linear ansteigt (Abb. 3a). Ähnlich zu Chipkarten zeigt sich aber auch hier eine Langzeitinstabilität des OSL Signals bei Raumtemperatur (ca. 50% Signalverlust nach 10 Tagen, Abb. 3b). Dabei bewirken höhere Vorheiztemperaturen nur eine geringfügige Verringerung der Fadingrate, bei gleichzeitig starker Erhöhung der Nachweisgrenze und Variabilität. Deshalb werden niedrigere Vorheiztemperaturen (120°C) zur Dosismessung bevorzugt. Die Gesetzmäßigkeit des Signalverlustes mit der Lagerungszeit kann am ehesten mit

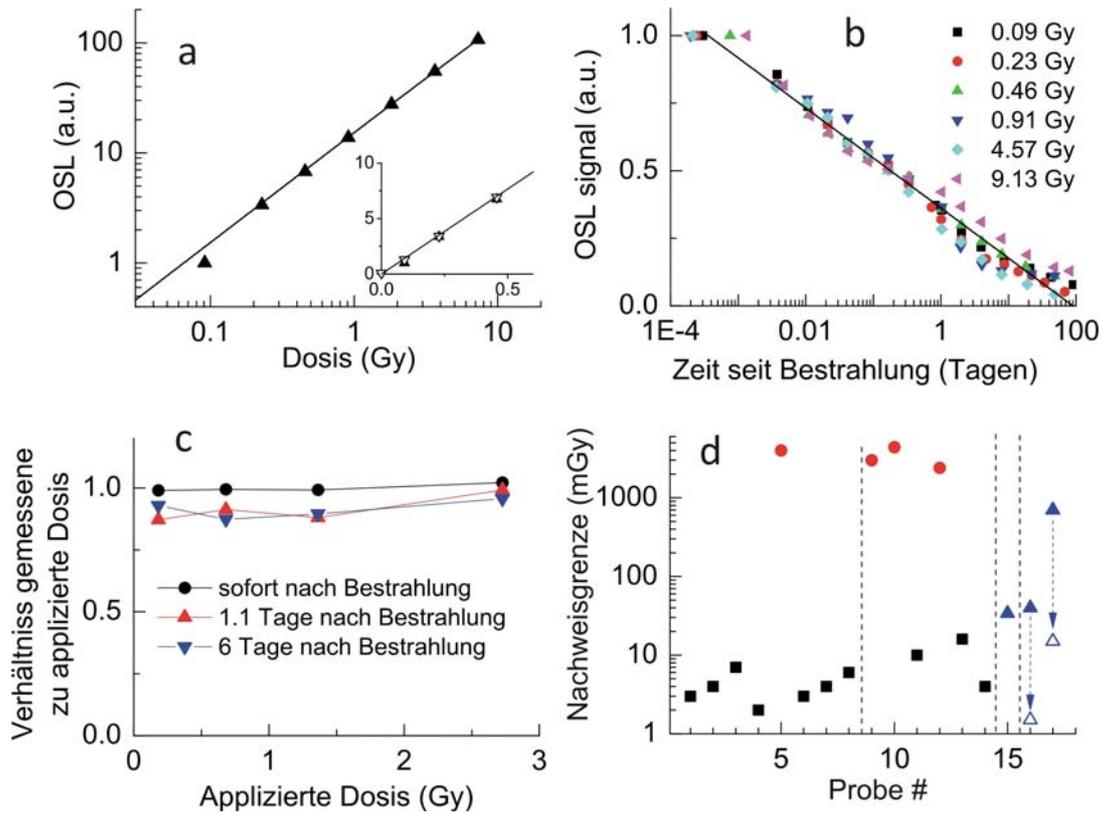


Abbildung 2:

a: Dosisaufbaukurve des OSL Signals eines Chipkartenmoduls mit transparenter Vergussmasse.

b: Fadingkurve des gleichen Typs Chipkartenmoduls, mit verschiedenen Dosen bestrahlt.

c: Bestrahlungstest an verschiedenen Chipkartenmodulen. Alle angegebenen Werte sind Fading-korrigiert.

d: Nachweisgrenze verschiedener Chipkarten: Probe 1-8: EC-Karten, Probe 9-14 Krankenkassenkarten, Probe 15 SIM-Karte mit Molding, Probe 16: Chipkartenmodul mit Molding, Probe 17: kontaktloses Chipkartenmodul mit Molding. Rote Punkte bezeichnen Karten mit semi-opaquen, schwärzlicher Vergussmasse, geschlossene Dreiecke Module mit Molding, offene Dreiecke das extrahierte Füllmaterial aus den jeweiligen Modulen.

dem Modell des anomalen Ausheilens erklärt werden. Weiterhin zeigte sich bei der Messung der Gamma-Unfalldosis nach 35 Tage Lagerungszeit, dass der Wert der gemessenen Dosis abhängig vom Integrationsintervall des OSL Signals ist und dass in diesem Falle bis zum Plateaubereich integriert werden muss, um die im Rahmen der Fehler korrekte Dosis zu erhalten. Durch Zusammenfassen aller keramikreichen Bauteile eines Gerätes konnte auch für neueste Mobiltelefone eine Nachweisgrenze unter 10 mGy erreicht werden, während sie für Digitalkameras und USB Memorysticks höher liegt (10-100 mGy, Abb. 3c). Messungen der Photonenenergieabhängigkeit von Widerständen in einem Mobiltelefon zeigen eine Überhöhung des OSL Signals für niedrige Energien (~ 60 keV) um bis zu einem Faktor zwei bis drei, je nach Einfallswinkel (Abb. 3d). Bei noch niedrigeren Energien führt die abschirmende Wirkung des Gehäuses zu einem Abfall des Signals, im Gegensatz zum weiteren Anstieg bei extrahierten Komponenten. Theoretisch könnte also im ungünstigsten Falle eine im Vergleich zu Luft um einen Faktor drei zu hohe Dosis angezeigt werden, in der Regel wird sie aber durch Aufweitung des Photonenpektrums durch Streuprozesse und der ausgeprägten Winkelabhängigkeit deutlich niedriger liegen. Abbildung 3d kann damit als Grundlage zur Berechnung von Dosiskonversionskoeffizienten für verschiedene Expositionsszenarien und vorkommende Radionuklide dienen.

Neben der OSL wurde auch die TL als Messmethode für elektronische Komponenten untersucht. Dabei wurde aber für Widerstände ein variables Nulldosis-Signal beobachtet, welches die potenziell höhere Empfindlichkeit der Messmethode aufhebt oder sogar umkehrt. Für Induktivitäten, die kein Nulldosis-Signal aufwiesen, konnte ein TL Peak bei ca. 270°C identifiziert werden, der eine deutlich niedrigere Fadingrate als das OSL Signal zeigt. Allerdings ergaben Bestrahlungstests eine systematische Dosisüberschätzung, so dass vor einer verlässlichen Anwendung weiterer Forschungsbedarf besteht.

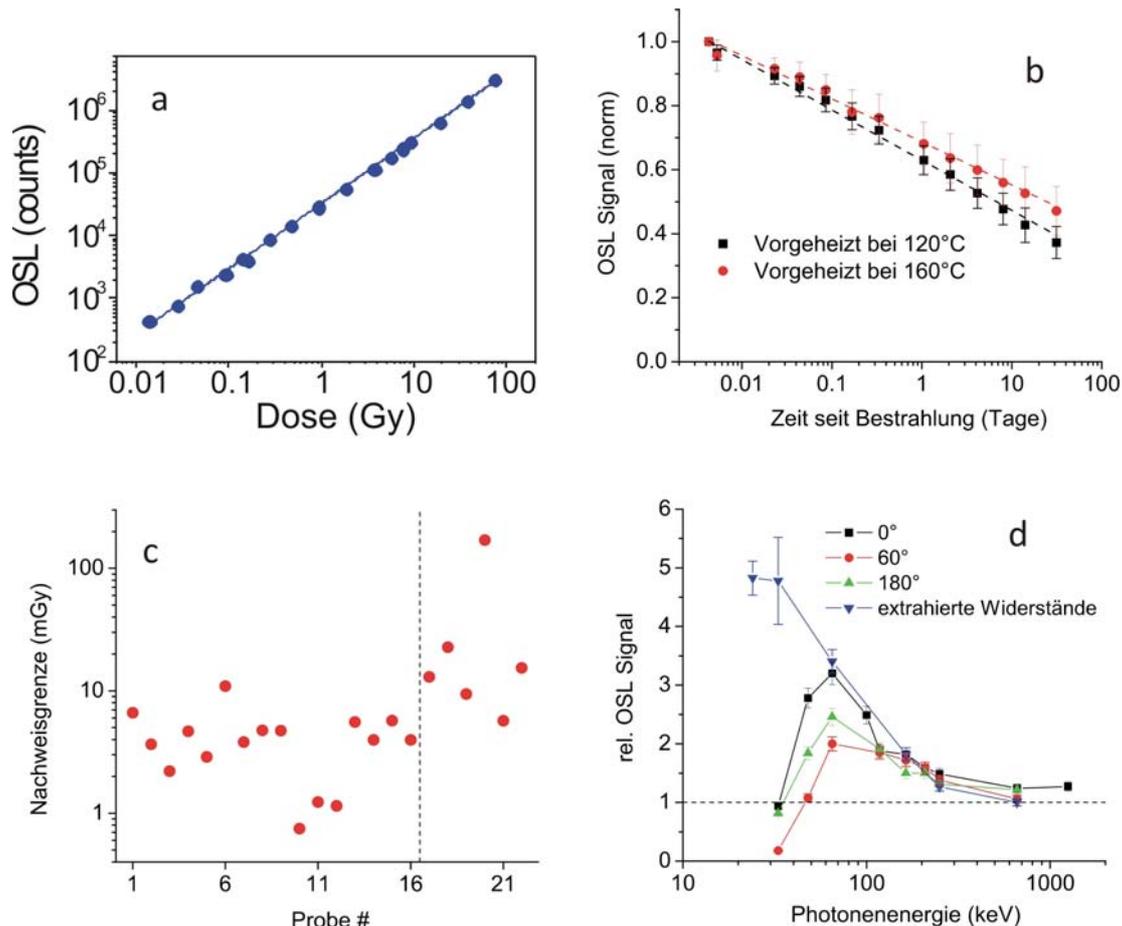


Abbildung 3:
a: Dosisaufbaukurve des OSL Signals eines Satz von Widerständen aus einem USB-Memorystick.
b: Gemittelte Fadingkurve mit Standardabweichung für elektronische Komponenten aus 21 tragbaren elektronischen Geräten und für zwei verschiedene Vorheiztemperaturen.
c: Nachweisgrenze für 22 tragbare elektronische Geräte, sofort nach der Bestrahlung, Proben 1-16 sind Mobiltelefone, Proben 17-22 USB-Sticks und Digitalkameras.
d: Photonenergieabhängigkeit des OSL Signals aus Widerständen in einem Nokia 6300 Mobiltelefon für verschiedene Einfallswinkel. Zum Vergleich ist die Energieabhängigkeit der extrahierten Widerstände ebenfalls angegeben.

5.2 ENTWICKLUNG EINES WARTUNGSFREIEN LUMINESZENZDETEKTORS SAMT RECHENPROGRAMM

Als Lumineszenzmaterial wurde BeO ausgewählt, da es billig, mechanisch robust ist und günstige Lumineszenzeigenschaften aufweist. Für den Chip wurde ein Halter aus schwarzem Plexiglas entwickelt, der licht-, wasserdicht und umweltstabil ist (Abb. 4a). Damit ergibt sich eine annähernd flache Photonenergieabhängigkeit (Variation von $\pm 25\%$). Mit einem zwei-Stufen Messprotokoll kann dabei ein lineares Dosiswachstum über 6 Größenordnungen gemessen werden, wobei 60 Dosimeter pro Stunde ausgewertet werden können (Abb. 4b). Die Detektoren haben den Vorteil, dass sie bereits während der Ausbreitung der radioaktiven Wolke eine Dosis akkumulieren, welche von anderen Messverfahren nicht aufgezeichnet werden.

Für IAMM sind die theoretischen Grundlagen erarbeitet worden, um die Verarbeitung von Dosismessungen und Ausgabe von Karten für das Luftkerma zu einem anzugebenden Zeitpunkt zu ermöglichen. Die abgeleiteten Formeln können nun direkt im Modul implementiert werden.

Das Fitprogramm basierend auf dem Gaußschen Fahnenmodell hat den Vorteil, dass es mathematisch sehr robust ist und selbst aus einer einzelnen Detektormessung eine grobe Abschätzung der flächenhaften Verteilung der effektiven Dosis liefern kann. Andererseits ist die Annahme einer ungestörten Ausbreitung in Quer-

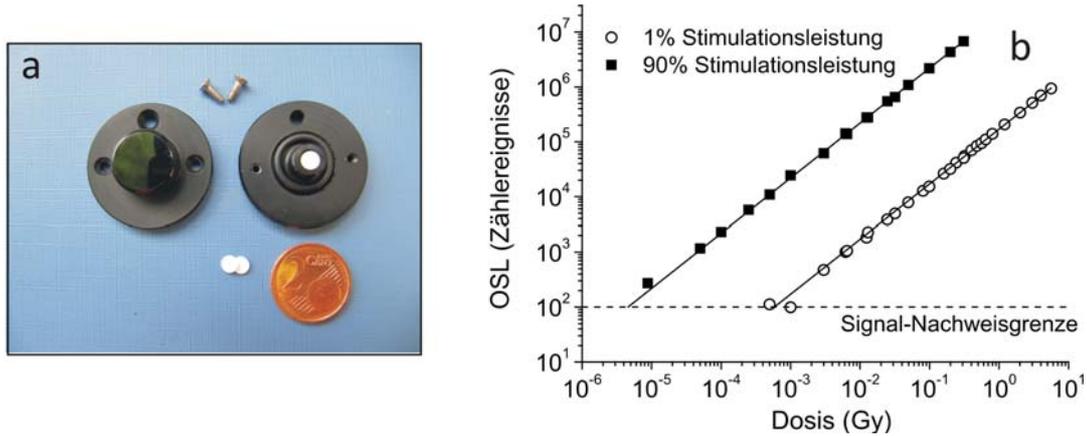


Abbildung 4:
a: Aufbau des Lumineszenzdetektors bestehend aus schwarzem Plexiglasgehäuse, O-Ring, Schrauben und BeO-Chip (4 mm Durchmesser).
b: Dosisaufbaukurve von BeO, gemessen mit einem Riso TL/OSL DA-15 Messgerät und zwei Stimulationsleistungen.

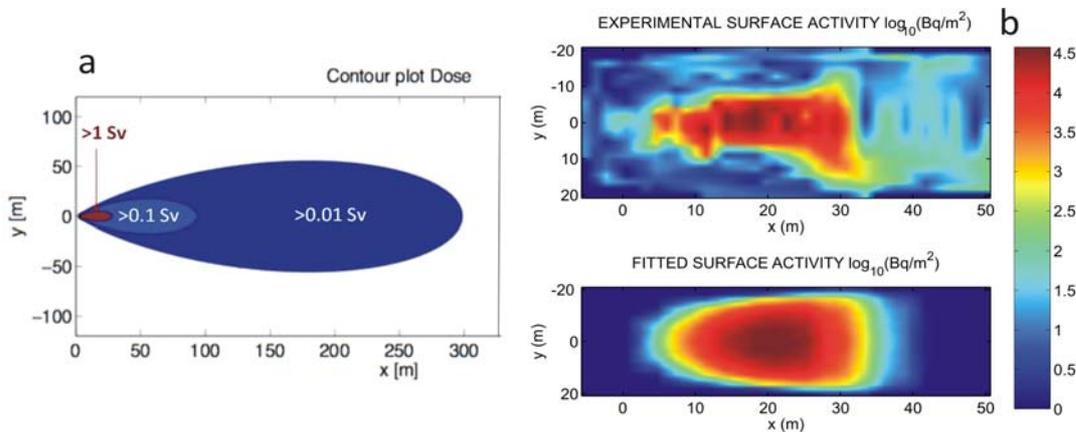


Abbildung 5:
a: Beispielhafte Karte der effektiven Dosis, wie sie mit dem Gaußschen Fahnenmodell aus lokalen Dosen berechnet werden kann.
b: Gemessene (oben) und gefittete (unten) Oberflächenaktivität eines Feldversuches mit Tc-99m.

richtung zum Wind in städtischer Umgebung streng genommen nie erfüllt. Anwendung der Software auf Daten eines von Tschechischen Wissenschaftlern in 2008 durchgeführten Experiments, bei welchem geringe Mengen an Tc-99m über einem freien Testgelände verbreitet wurden, zeigen gute Übereinstimmung zwischen gemessener und gefitteter Oberflächenaktivität (Abb. 5 b).

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens können zur Installation eines wartungsfreien und damit vergleichsweise günstigen, bundesweiten Netzwerks von Ortsdosimetern an öffentlichen Gebäuden und Plätzen verwendet werden. Ein solches Netzwerk ermöglicht nach Notfallsituationen mit Strahlenexposition eine schnelle retrospektive Abschätzung der Strahlenexposition der betroffenen Bevölkerungsgruppe.

Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Subject area 04
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema Konzepte zur Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm			
Subject <i>Concepts to evaluate breast cancer mortality in the German Mammography Screening Programme</i>			
Kennzeichen 3609S40004	Beginn 27.10.2009	Ende 31.03.2010	Fördermittel EUR 112.572,-
Forschungs- / Auftragnehmer ZI - Zentralinstitut für die kassenärztliche Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland			
Projektleitung Dr. A. Moniem Mukhtar, Dr. D. Graf von Stillfried	Fachbetreuung BfS Dr. E. Nekolla / AG-SG 2.1	verantwortlich für den Text Dr. A. Moniem Mukhtar, Dr. E. Nekolla	

1. ZIELSETZUNG

Hintergrund

Das Ziel von Mammographie-Screening-Programmen ist die Senkung der Brustkrebsmorbidity bzw. -mortalität. Die Senkung der Mortalität durch Mammographie-Screening wurde bereits in zahlreichen randomisierten Studien nachgewiesen. Darauf hin wurden in vielen Ländern - vor allem in Europa - populationsbezogene qualitätsgesicherte Mammographie-Screening-Programme eingeführt. Das erste Land war Schweden, welches im Jahr 1986 das organisierte Mammographie-Screening implementierte. Bereits 1998 hatten 22 Länder nationale oder regionale MSP oder zumindest populationsbezogene Pilot-Programme eingeführt oder geplant.

In Deutschland wurde ein flächendeckendes und qualitätsgesichertes MSP im Vergleich zu anderen europäischen Ländern eher spät - in den Jahren 2005 bis 2007 - eingeführt. Der flächendeckenden Implementierung des Screenings gingen zunächst Modellprojekte voraus. Eine Übersicht über die Einführung des MSP in den unterschiedlichen deutschen Regionen enthält Tabelle 1.

Tabelle 1:
Übersicht über die Einführung des MSP in Deutschland

Region	Einführung des Screenings
Baden-Württemberg	Dezember 2006
Bayern	November 2006
Berlin	Juli 2006
Brandenburg	Januar 2008
Bremen	April 2005
Hamburg	April 2008
Hessen	März 2006
Mecklenburg-Vorpommern	Mai 2006
Niedersachsen	Februar 2006
Nordrhein	Februar 2006
Rheinland-Pfalz	Mai 2007
Saarland	Dezember 2006

Sachsen	Juli 2007
Sachsen-Anhalt	Oktober 2007
Schleswig-Holstein	Mai 2007
Thüringen	Mai 2007
Westfalen-Lippe	Februar 2006

Zielsetzung des Forschungsvorhabens war die Entwicklung von methodischen Konzepten zur Evaluation der Brustkrebsmortalität nach Einführung des Deutschen Mammographie-Screening-Programms (MSP). Dazu hat das ZI

- ein Systematisches Review (SR) der internationalen Evaluationskonzepte in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet „Management im Gesundheitswesen der Technischen Universität Berlin“ konzipiert und durchgeführt,
- mehrere Evaluationskonzepte erarbeitet und
- diese im Rahmen eines Fachgesprächs mit Experten diskutiert.

Zwei Fragestellungen waren Gegenstand der Evaluation:

- Hat die Einführung des flächendeckenden und qualitätsgesicherten Mammographie-Screening-Programms in Deutschland eine Wirkung auf die Brustkrebsmortalität unter den anspruchsberechtigten Frauen?
- Wie groß ist ggf. der Effekt des Mammographie-Screening-Programms in Deutschland auf die Brustkrebsmortalität unter den anspruchsberechtigten Frauen?

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben sollte methodische Konzepte zur Evaluation der Brustkrebsmortalität nach Einführung des Deutschen Mammographie-Screening-Programms entwickeln.

2.1 AUFARBEITUNG DER AKTUELLEN STANDES DER WISSENSCHAFT

Um eine systematische und kritische Abbildung vergleichbarer Evaluationskonzepte zu liefern, sollte eine Aufarbeitung der vorhandenen Literatur zum Thema durchgeführt werden.

2.2 ERARBEITUNG MEHRERER EVALUATIONSKONZEPTE

Die Ergebnisse der kritischen Aufarbeitung vorhandener Literatur sollten verwendet werden, um evidenzbasierte Studien-Designs zu entwickeln, wobei mehrere Evaluationskonzepte, mehrere methodische Optionen und Strategien gegen mehrere Bias-Arten vorgeschlagen und die Besonderheiten des Deutschen Programms berücksichtigt werden sollten.

2.3 DURCHFÜHRUNG EINES FACHGESPRÄCHS

Zur Vorstellung und Diskussion der erarbeiteten Konzeptvorschläge sollte ein Fachgespräch geplant und durchgeführt werden.

3. METHODIK

3.1 ERSTELLUNG EINES SYSTEMATISCHEN REVIEWS (SR)

In Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet „Management im Gesundheitswesen der Technischen Universität Berlin“ wurde ein SR konzipiert und durchgeführt. Die Methodik des SR zu den internationalen Evaluationen der Brustkrebsmortalität beim Mammographie-Screening wurde vom ZI entwickelt. Dies schließt die Präzisierung der Fragestellung, die Entwicklung der Suchstrategie, die Vorbestimmung der Ein- und Ausschlusskriterien, die Selektion der Studien und die Konzipierung der Evidenzextraktion und Evidenzsynthese mit ein. Das auf Health Technology Assessment spezialisierte Fachgebiet „Management im Gesundheitswesen“ unter der

Leitung von Prof. Dr. med. Reinhard Busse führte die Evidenzextraktion und Evidenzsynthese im Auftrag des ZI durch.

3.2 ERARBEITUNG MEHRERER EVALUATIONSKONZEPTE

Randomisierte kontrollierte Studien (RCTs) gelten als Goldstandard für die Evaluation der Wirksamkeit von gesundheitsbezogenen Interventionen wie dem Mammographie-Screening. Da die Teilnahme am Mammographie-Screening-Programm in Deutschland per Gesetz allen anspruchsberechtigten Frauen zur Verfügung steht, ist eine zufällige Zuweisung der Intervention Screening an Frauen nicht möglich. Demzufolge ist eine Evaluation des deutschen Programms anhand einer RCT nicht möglich.

Ökologische Studien, die beispielsweise die Brustkrebsmortalitätsraten vor und nach Einführung des Mammographie-Screenings in Deutschland vergleichen, können keinen Nachweis für die Wirksamkeit des Mammographie-Screenings liefern, da sie den Expositionsstatus (gescreent versus nicht gescreent) der einzelnen Frauen nicht mit ihrem Vitalitätsstatus (an Brustkrebs verstorben: ja / nein) in Zusammenhang bringen können.

Fall-Kontroll-Studien und prospektive Kohorten-Studien stellen für die Evaluation des Deutschen Mammographie-Screening-Programms eine Option dar.

Basierend auf den Ergebnissen des SR wurden alle theoretisch denkbaren Konzepte in Betracht gezogen, wobei folgende Aspekte berücksichtigt wurden: Studiendesign, Datenquellen, Fallzahlkalkulation, Auswertungsplan, Maßnahmen zur Kontrolle relevanter Biasarten (z. B. Lead-Time-Bias, Over-Diagnosis-Bias, Length-Time-Bias) und Maßnahmen zur Berücksichtigung der Screening-Historie und weiterer Einflussfaktoren.

3.2.1 Präzisierung der Fragestellung

Studienpopulation ist die Gruppe der anspruchsberechtigten Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren ohne Brustkrebs-Diagnose (zum Zeitpunkt der Einführung des Mammographie-Screenings).

Die Interventionsgruppe enthält MSP-Teilnehmerinnen unter den anspruchsberechtigten Frauen. Die Kontrollgruppe enthält Nicht-Teilnehmerinnen am MSP unter den anspruchsberechtigten Frauen.

Der Endpunkt ist die Brustkrebsmortalität.

3.2.2 Hypothesen

- H0: „Die Einführung des MSP führt zu keiner Änderung der Brustkrebsmortalität unter den anspruchsberechtigten Frauen.“
- H1: „Die Einführung des MSP führt zu einer Änderung (Senkung oder Erhöhung) der Brustkrebsmortalität unter den anspruchsberechtigten Frauen.“

3.2.3 Abschätzung von Fallzahlen

Sowohl für eine Fall-Kontroll-Studie als auch für eine Kohortenstudie wurden Mindestfallzahlen abgeschätzt. Für eine Fall-Kontroll-Studie wurden dabei unterschiedliche Annahmen bezüglich der Wahrscheinlichkeit für die Exposition unter den Kontrollen und für die Kohortenstudie unterschiedliche Annahmen bezüglich des Unterschieds zwischen den Exponierten und den Nicht-Exponierten in der Brustkrebsmortalität getroffen. Die Mindestfallzahlen wurden für beide Studientypen für das gesamte Bundesgebiet berechnet. Die Fallzahlkalkulation erfolgte nach der Methode von Dupont [Dupont, 1988] unter Verwendung der Software „Power Analysis and Sample Size“ (PASS).

4. DURCHFÜHRUNG

Fall-Kontroll-Studien und prospektive Kohorten-Studien können für die Evaluation des Deutschen Mammographie-Screening-Programms geeignet sein. Im Rahmen des durchgeführten SR, das die internationalen Evaluationskonzepte zusammenfasst, wurden 9 Fall-Kontroll-Studien und 19 Kohorten-Studien identifiziert, die in 11 Ländern durchgeführt wurden. Beide Studien-Designs haben unterschiedliche Vor- und Nachteile.

4.1 FALL-KONTROLL-STUDIE

Die Fragestellung bei einer retrospektiven Fall-Kontroll-Studie lautet: Besteht ein Unterschied im Expositionsstatus (Screening) zwischen einer Gruppe von „Fällen“ (Frauen, die an Brustkrebs verstorben sind) und einer Gruppe von „Kontrollen“ (Frauen, die noch leben und nicht an Brustkrebs erkrankt sind)?

Selektion der Fälle:

Fälle werden wie folgt definiert:

- Frauen mit Brustkrebs(BK)-Diagnose im Alter von 50-69 Jahren, die an BK verstorben sind.

Ausgeschlossen werden Fälle, die

- außerhalb Deutschlands gestorben sind oder
- deren BK-Diagnose vor Einführung des Screenings (Time-of-Diagnosis-Bias) liegt (unter Berücksichtigung der regionalen Unterschiede bzgl. Startdatum des Screenings)

Die Rekrutierung soll im Zeitraum 2011-2013 erfolgen.

Selektion der Kontrollen:

Kontrollen sind Frauen ohne BK (Im SR schlossen 6 von 9 Fall-Kontroll-Studien Frauen mit BK von der Kontrollgruppe aus), die zum Todeszeitpunkt des Falls noch am Leben sind. Die Zuordnung zum Fall (Matching) erfolgt nach Geburtsjahr.

Ein weiteres Matching nach Wohnort sollte erwogen werden (auf Kreisebene: nach Kreistypen des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung zur Kontrolle regionaler Unterschiede bzgl. Brustkrebsrisiko, Versorgung und Therapie).

Pro Fall werden zwei Kontrollen zufällig gezogen.

Definition der Exposition:

Exponierte sind Frauen, die mindestens einmal am Screening teilgenommen haben.

Nicht-Exponierte sind Frauen, die niemals am Screening teilgenommen haben (die keine Screening-Historie in den Screening-Einheiten aufweisen).

Das Zeitfenster vor Diagnosedatum bzw. vor Pseudo-Diagnosedatum bestimmt Expositionsstatus und Screening-Historie.

Tabelle 2:**Fallzahlkalkulationen für die Fall-Kontroll-Studie**

Wahrscheinlichkeit für die Exposition unter den Kontrollen	Fallzahl der Fälle	Fallzahl der Kontrollen
30%	1376	2752
20%	1839	3678
10%	3327	6654

4.2 KOHORTENSTUDIE

Die Fragestellung bei einer prospektiven Kohortenstudie lautet: Besteht ein Unterschied in der Brustkrebsmortalität zwischen einer Gruppe exponierter Frauen (MSP-Teilnehmerinnen) und einer Gruppe nicht exponierter Frauen (asymptomatische Nicht-Teilnehmerinnen der Alterskategorie 50 bis 69 Jahre) und wie hoch ist ggf. dieser Unterschied?

Definition der Exponierten:

Exponierte sind Frauen, die mindestens einmal am Screening teilgenommen haben. Ein Ausschluss erfolgt für Frauen, die

- am Anfang der Beobachtungszeit jünger als 50 Jahre oder älter als 69 Jahre sind,
- deren BK-Diagnose vor Teilnahme am Screening erfolgt ist.

Das Follow-up beginnt mit Datum der ersten Teilnahme und endet mit Tod, Migration oder dem 31.12.2020.

Definition der Nicht-Exponierten:

Nicht-Exponierte sind anspruchsberechtigte und eingeladene Frauen, die niemals am MSP teilgenommen haben (die keine Screening-Historie in den Screening-Einheiten aufweisen).

Ein Ausschluss erfolgt für Frauen, die

- am Anfang der Beobachtungszeit jünger als 50 Jahre oder älter als 69 Jahre sind,
- die (noch) keine Einladung zum Mammographie-Screening erhalten haben,
- deren BK-Diagnose vor Einladung zum Mammographie-Screening erfolgt ist.

Das Follow-Up beginnt eigentlich mit dem Datum der ersten Einladung (hierbei ist eine Änderung der Dokumentation erforderlich, da bei wiederholten Einladungen einer Anspruchsberechtigten nur der letzte Einladungstermin gespeichert wird) und endet mit Tod, Migration oder dem 31.12.2020.

Tabelle 3:
Fallzahlkalkulationen für die Kohorten-Studie (gerundet)

Unterschied zwischen Exponierten und Nicht-Exponierten	Fallzahl der Exponierten	Fallzahl der Nicht-Exponierten
20%	609.000	609.000
15%	1.112.000	1.112.000
10%	2.570.000	2.570.000

4.3 BESTIMMUNG DES ENDPUNKTS

Endpunkt ist der Vitalstatus bezüglich Brustkrebs (an BK verstorben: ja/nein).

Im SR wurden bei den meisten identifizierten Kohorten-Studien die „refined mortality“, die von manchen Autoren „incidence based mortality“ genannt wird, als Endpunkt verwendet. Die refined mortality bzgl. Brustkrebs berücksichtigt ausschließlich diejenigen an BK verstorbenen Frauen, die die BK-Diagnose

- im Alter von 50-69 Jahren und
- nach Einführung des Mammographie-Screening-Programms erhielten.

Brustkrebsfälle, für die nur eine Meldung aus der Todesbescheinigung im Krebsregister vorliegt (sog. Death Certificate Only), werden ausgeschlossen.

5. ERGEBNISSE

Folgende Empfehlungen wurden seitens des ZI erarbeitet:

- Im Rahmen des in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet „Management im Gesundheitswesen der Technischen Universität Berlin“ durchgeführten Systematischen Review, das die internationalen Evaluationskonzepte zusammenfasst, wurden 9 Fall-Kontroll-Studien und 19 Kohorten-Studien identifiziert (aus 36 Studien). Sowohl Fall-Kontroll-Studien als auch prospektive Kohorten-Studien sind für die Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm geeignet.
- Beide Studien-Designs haben unterschiedliche Vor- und Nachteile. Es wird die simultane Durchführung beider Studien und ein Vergleich der Ergebnisse empfohlen. Dafür können zwei voneinander unabhängig arbeitende wissenschaftliche Einrichtungen beauftragt werden.
- Bei konsistenten Ergebnissen kann der Wirksamkeitsnachweis verstärkt und bei inkonsistenten Ergebnissen auf mögliche Biasarten hingewiesen werden. Da für inkonsistente Ergebnisse kein Goldstandard vorliegt, bedarf eine solche Konstellation weiterer Diskussion. Dabei soll berücksichtigt werden, dass bei standardgemäßem Design, standardgemäßer Durchführung und Auswertung prospektive Kohorten-Studien in der Evidenz-Hierarchie einen höheren Stellenwert besitzen als Fall-Kontroll-Studien.
- Um mit der Evaluation des Programms zeitnah zu beginnen, wird die Durchführung von einer Pilot-Phase für beide Studien in ausgewählten (zwei bis vier) Bundesländern empfohlen.
- Die Pilot-Phase zielt auf die Untersuchung der Machbarkeit und auf die Abwägung der verschiedenen methodischen Optionen insbesondere bei der Auswahl der Kontrollgruppen ab.
- Die Ergebnisse der Pilot-Phasen sind nur als vorübergehend zu betrachten bis die Studien für alle Bundesländer abgeschlossen sind. Die Fallzahl in beiden Studien wurde für das gesamte Bundesgebiet berechnet und bei den Pilot-Phasen könnte es an statistischer Power mangeln, um einen Effekt des Mammographie-Screening zu erkennen.

- Der frühest mögliche Zeitpunkt für den Start beider Studien ist das Jahr 2011. Dies ermöglicht den Ausschluss der Brustkrebsfälle aus der Prävalenz-Runde, die regelmäßig größere und prognostisch ungünstigere Tumoren aufweisen. Bis 2011 wird erhofft, dass sich die Einladungs- bzw. Teilnahmeraten (66,1% bzw. 53,6% Ende 2007) erhöhen, um eine ausreichende Anzahl von Brustkrebstodesfällen nach der Einführung des Programms kumulieren zu lassen.

Die Konzepte und Empfehlungen wurden auf einem Fachgespräch vorgestellt und diskutiert.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Krebsfrüherkennungs-Richtlinie hat die Voraussetzungen geschaffen, dass das Deutsche Mammographie-Screeningprogramm dahingehend überprüft werden kann, inwieweit der gesundheitliche Nutzen gemäß § 23 Abs. 1 Satz 2 der RöV, der die Grundlage für den Fortbestand der Zulassung des Programms nach § 25 Abs. 1 RöV darstellt, erreicht werden konnte (Senkung der Brustkrebs-Mortalität durch das Screening-Programm). Die Sicherstellung dieser Forderung erfolgt durch das BMU als zuständiges Bundesministerium für den Bereich Strahlenschutz und das BfS als nachgeordnete Fachbehörde.

Auf der Basis des Vorhabens wurde seitens des BfS ein Positionspapier erarbeitet, das das weitere Vorgehen bzgl. der Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm skizziert. In der Folge wurden die konzeptionellen und finanziellen Inhalte zwischen den sich beteiligenden Ressorts (BMU / BMG) und den Trägern des Mammographie-Screening-Programms abgestimmt. Das auf Grundlage des Forschungsvorhabens erstellte Positionspapier bildet die Basis für die Ausschreibung des Forschungsvorhabens 3610S40002 „Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm“.

Thema Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren			
Subject <i>Survey to determine frequency and radiation dose from nuclear medical diagnostics</i>			
Kennzeichen 3608S04003	Beginn 23.06.2008	Ende 08.07.2010	Fördermittel EUR 70.400,-
Forschungs- / Auftragnehmer Klinikum Braunschweig, Braunschweig			
Projektleitung Dr. M. Borowski	Fachbetreuung BfS Dr. D. Noßke / AG-SG 2.2		verantwortlich für den Text Dr. M. Borowski

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen einer Stichprobe sollten Daten zur Häufigkeit von und Strahlenexposition bei nuklearmedizinischen Untersuchungen in Deutschland erhoben werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Innerhalb der Studie sollten Daten aus mindestens 15 Kliniken und 8 Praxen, die Deutschland geographisch abdecken und sowohl großstädtische als auch ländliche Bereiche sowie universitäre und nichtuniversitäre Kliniken beinhalten, erhoben werden.

Die erhobenen Daten sollten für mindestens zwei aufeinander folgende Jahre Informationen zum Geschlecht, Alter, Aufnahmezustand und Versicherungsstatus von Patienten sowie zur untersuchenden Institution und dem untersuchten Organsystem, angelehnt an die UNSCEAR Aufteilung, enthalten. Für die einzelnen Untersuchungen sollten die verwendeten Radiopharmaka, die applizierte Aktivität sowie die daraus resultierende effektive Dosis des Patienten erhoben werden.

Die Daten waren sinnvoll zusammenzufassen, so dass sich aus Ihnen die Informationen entnehmen lassen, die für nationale und internationale Berichtspflichten sowie für die Vorbereitung von Vorschlägen für neue diagnostische Referenzwerte benötigt werden.

3. METHODIK

Die Erhebung erfolgte in drei Schritten:

1. Rekrutierung von Kliniken und Praxen in ausreichender Anzahl und Diversität;
2. Erhebung von gelisteten Daten sämtlicher nuklearmedizinischer Untersuchungen der Kalenderjahre 2007 und 2008;
3. Überführung der Daten in ein einheitliches Format, Fehlerbereinigung und Analyse der Daten nebst Berechnung relevanter statistischer Größen.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Information und Rekrutierung der mitwirkenden nuklearmedizinischen Einrichtungen erfolgte primär durch Informationsmaterialien, die von Fachverbänden, insbesondere der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin, verteilt wurden, sowie durch Direktansprache von nuklearmedizinischen Einrichtungen durch die Projektpartner sowie mitwirkender Nuklearmediziner.

Das im Datensatz enthaltene Pflichtfeld zum Versicherungsstatus stellte sich bei der Rekrutierung der Stichprobe als hinderlich heraus. Die hiermit verbundene Herausgabe von Daten, die potenziell eine Abschätzung der Einnahmen einzelner Praxen bzw. Kliniken ermöglichen, war für einige Nuklearmediziner Grund, bei der Erhebung nicht mitzuwirken.

In der Studie wurden neben den oben genannten Datenfeldern Informationen zur Untersuchungsdurchführung sowie zu der mit einer Untersuchung verbundenen Fragestellung erfasst. Zudem wurden einige Aufnahmeparameter von Untersuchungen erhoben. Die zusätzlichen Daten ermöglichen eine differenziertere Analyse der Daten.

Die Datenerhebung orientierte sich an der bei mitwirkenden nuklearmedizinischen Einrichtungen genutzten Dokumentation. In einigen Fällen konnten die benötigten Daten direkt aus der elektronischen Dokumentation der Einrichtung extrahiert werden. In vielen Fällen war eine zumindest teilweise manuelle Erhebung der Daten notwendig.

Die Daten wurden nach der Erhebung zur Analyse in ein einheitliches Format überführt und auf Korrektheit hin gesichtet. Fehler, die bei der Sichtung offenbar wurden, wurden korrigiert. In Zweifelsfällen geschah dieses in Rücksprache mit den Einrichtungen.

Aus den im Zusammenhang mit einer Untersuchung dokumentierten Aktivitäten wurde, unter Berücksichtigung der Zeit zwischen Präparation und Applikation sowie der möglicherweise in der Spritze verbleibenden Aktivität, die "applizierte Aktivität" berechnet.

Die mit einer Untersuchung verbundene Strahlenexposition wurde auf Basis der ICRP¹⁾-Publikationen 106, 80 und 53 berechnet. Für Radiopharmaka, die in den ICRP-Publikationen nicht berücksichtigt sind, wurde auf Unterstützung des Bundesamtes für Strahlenschutz zurückgegriffen.

Bei der Berechnung statistischer Größen wurden nur Untersuchungen berücksichtigt, die an Personen ab einem Alter von 16 Jahren durchgeführt wurden, um keine Beeinträchtigung der Größen durch alters- bzw. gewichtsabhängig applizierte Radiopharmaka zu erhalten. Weiterhin wurden die jeweils 5% an Untersuchungen mit der höchsten und niedrigsten applizierten Aktivität nicht berücksichtigt, um eine Beeinflussung der berechneten Größen durch klinisch bedingte Ausreißer oder seltene Untersuchungen, die möglicherweise mit anderen Radiopharmaka durchgeführt werden, zu vermeiden.

5. ERGEBNISSE

Insgesamt 25 Kliniken und 23 Praxen stellten Daten für die Studie zur Verfügung. Die Untersuchungshäufigkeit in den Einrichtungen reicht von weniger als 300 Untersuchungen im Jahr bis zu mehr als 13.000 Untersuchungen im Jahr. Die Altersverteilung des Kollektivs sowie die Aufteilung nach Versicherungsstatus, Geschlecht oder dem Aufnahmezustand entspricht der anderer Studien zur medizinischen Versorgung.

5.1 RESULTATE ZUR HÄUFIGKEIT UND STRAHLENEXPOSITION AUSGEWÄHLTER PATIENTENGRUPPEN

Die Zusammensetzung untersuchter Organsysteme unterscheidet sich deutlich im ambulanten und stationären Bereich. Im ambulanten Bereich tragen Schilddrüsenuntersuchungen zu mehr als 50% zu allen Untersuchungen bei, gefolgt von Skelettuntersuchungen (~23%) und Herzuntersuchungen (~13%), siehe Abbildung 1.

Im stationären Bereich machen die drei Untersuchungen zusammen nur 52% aller Untersuchungen aus. Im Vergleich besonders häufig sind in der stationären Versorgung Ganzkörper-(PET²⁾-) Untersuchungen sowie die Sentinel-Lymphknoten (SLN)-Diagnostik mit zusammen insgesamt 28% der Untersuchungen. Im Vergleich zu der letzten Studie dieser Art, die von Herrn Prof. Hahn vor etwa 10 Jahren durchgeführt wurde, ist insbesondere ein Rückgang der Nieren- sowie der Lungenuntersuchungen festzustellen. Hingegen hat die PET- und SLN-Diagnostik stark an Häufigkeit zugenommen.

Auch bei den anderen untersuchten Patientengruppen sind im Vergleich deutliche Unterschiede in der Häufigkeit zu erkennen, mit der unterschiedliche Organsysteme untersucht werden.

Die mit einer Untersuchung im Zusammenhang stehende Strahlenexposition unterscheidet sich nur unwesentlich zwischen den verschiedenen Patientengruppen. Die zu beobachtenden Unterschiede lassen sich auf die Verwendung unterschiedlicher Radiopharmaka für einzelne Patientengruppen zurückführen.

Bei Personen unterhalb von 16 Jahren weichen die Zusammensetzung an untersuchten Organsystemen sowie die applizierte Aktivität je Untersuchung erwartungsgemäß deutlich von denen älterer Patientengruppen ab. Bei den Personen unterhalb von 16 Jahren werden zu etwa 67% Nierenuntersuchungen durchgeführt. Die

1) International Commission on Radiological Protection

2) Positronen-Emissions-Tomographie

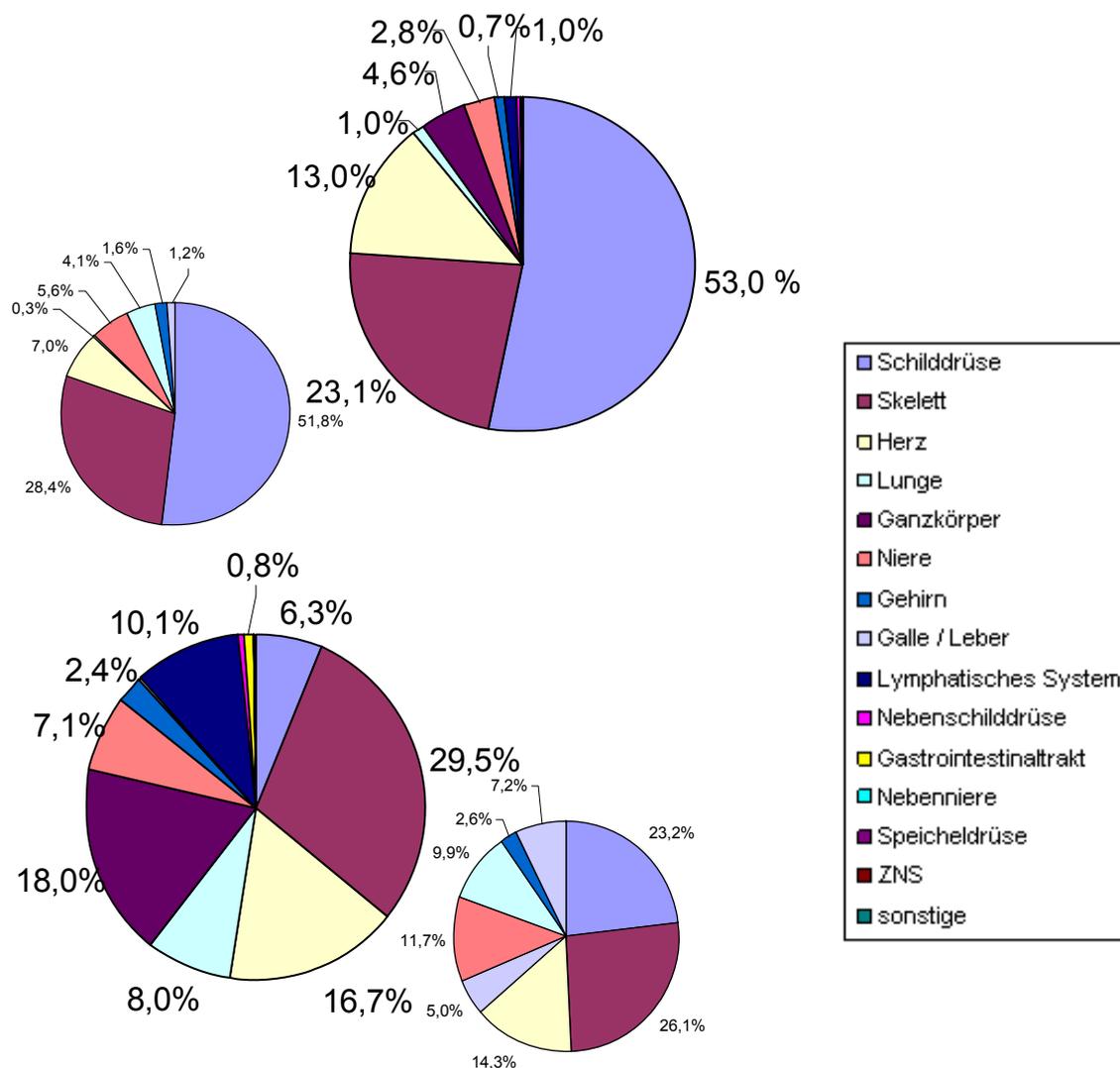


Abbildung 1: Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen im ambulanten (oben) und stationären (unten) Bereich. Die Resultate der aktuellen Studie sind mittig dargestellt. Die Resultate der Vergleichsstudie sind kleiner und seitlich dargestellt

im Zusammenhang mit einer Untersuchung applizierte Aktivität orientiert sich im Mittel aller nuklearmedizinischen Einrichtungen gut an den Vorgaben, die die „Paediatric Dosage card“ der Europäischen Vereinigung der Nuklearmediziner (EANM) liefert, siehe Abbildung 2.

Der Mittelwert täuscht jedoch darüber hinweg, dass lokal teilweise um mehr als einen Faktor 2 von der Empfehlung abweichende Aktivitäten appliziert werden. Zwischen der Einrichtung mit der höchsten und der mit der niedrigsten applizierten Aktivität liegt bei Nierenuntersuchungen mit MAG3 (Mercaptoacetyltriglycerin) ein Faktor 5.

5.2 RESULTATE ZUR STRAHLENEXPOSITION BEI DER UNTERSUCHUNG AUSGEWÄHLTER ORGANSYSTEME

Die statistischen Größen zu der im Zusammenhang mit einer Untersuchung applizierten Aktivität sowie zur daraus resultierenden effektiven Dosis wurden differenziert nach den untersuchten Organsystemen sowie den zur Untersuchung eingesetzten Radiopharmaka berechnet. Die Zusammenstellung gibt detailliert Auskunft über aktuell bestehende Arten der Untersuchungsdurchführung. Sie ist dabei jedoch nicht gänzlich frei von Überlagerungen, die dadurch entstehen, dass Untersuchungen eines Organsystems mit einem Pharmakon teilweise mit unterschiedlicher Fragestellung oder mit unterschiedlicher Untersuchungstechnik erfolgen, z. B. Skelettszintigraphien zur Abklärung einer Fragestellung nach einem benignen bzw. malignen Prozess.

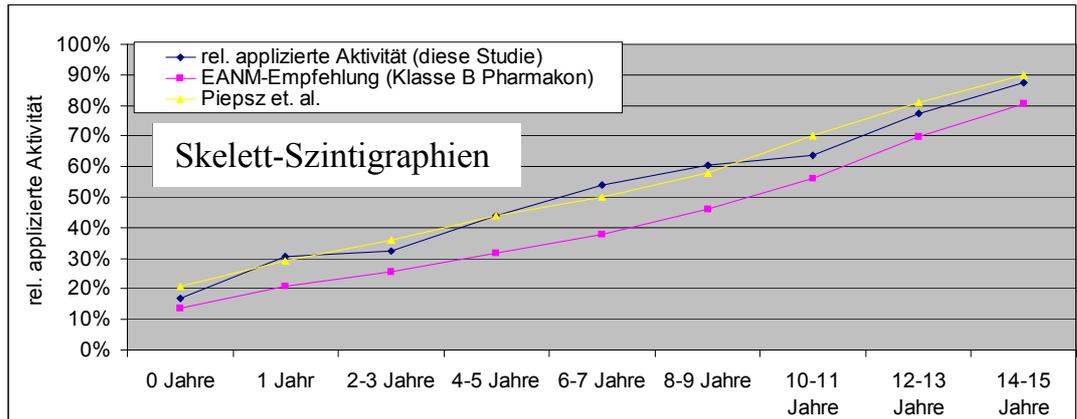
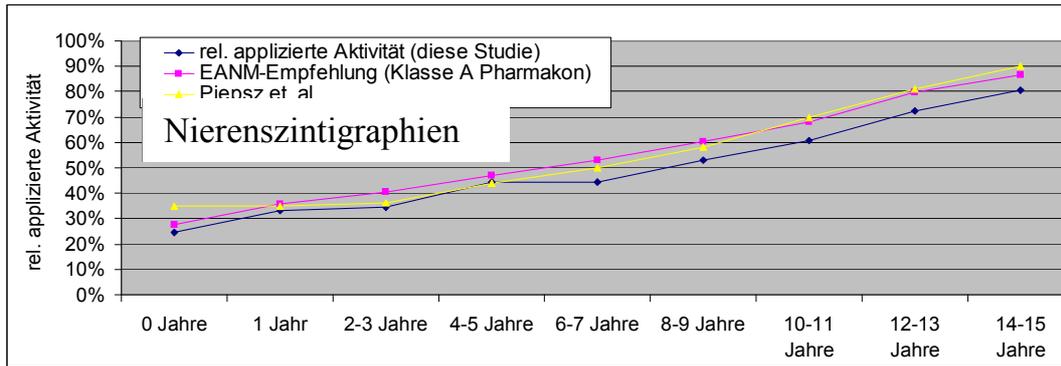


Abbildung 2:
Altersabhängig applizierte Aktivität für Nierenszintigraphien mit MAG3 sowie Skelett-Szintigraphien mit Tc-99m Phosphaten bei Kindern bis zum vollendeten 16. Lebensjahr

Aus diesen in der Aufstellung nicht berücksichtigten Einflussfaktoren resultieren unterschiedliche im Zusammenhang mit der Untersuchung applizierte Aktivitäten.

Um „überlagerungsfreie“ Aussagen zu durchgeführten Untersuchungen zu erhalten wurden 23 Standarduntersuchungen, unterschieden nach dem untersuchten Organsystem, dem Radiopharmakon sowie der Untersuchungsart und der Fragestellung, gesondert analysiert. Insbesondere wurde auch die Verteilung der in unterschiedlichen Einrichtungen im Mittel applizierten Aktivität betrachtet, siehe Abbildung 3. In der Abbildung sind die aktuell für die Untersuchungen gültigen DRW (Diagnostische Referenzwerte) als rote Linie kenntlich gemacht.

Es ist zu erkennen, dass die im Mittel in unterschiedlichen Einrichtungen applizierte Aktivität um mehr als einen Faktor zwei auseinander liegen kann. Dieses zeigt, dass auch fünf Jahre nach Veröffentlichung der DRW für die Nuklearmedizin diese an etlichen Stellen noch nicht als Richtwert verwendet werden. Dabei gibt es Untersuchungen, bei denen die in den DRW vorgesehene Aktivität grundsätzlich unterschritten wird und andere, bei denen diese vielfach überschritten ist. Dieses sollte bei der Überarbeitung der DRW für die Nuklearmedizin berücksichtigt werden.

Der Untersuchungszeitraum überschneidet sich um ein halbes Jahr mit der Zeit des Mo/Tc-Versorgungseinganges. Anhand der Daten ist zu erkennen, dass in dem Zeitraum die Anzahl an Untersuchungen unter Verwendung von Tc-99m basierten Radiopharmaka sowie die applizierte Aktivitätsmenge im Vergleich zum Vorjahreszeitraum deutlich zurückgegangen ist, siehe Abbildung 4. Eine Kompensation durch Verwendung anderer Nuklide, wie z. B. Tl-201 für Herzuntersuchungen oder F-18 für Knochenszintigraphien wurde nicht festgestellt.

Die Auswirkung der Nuklidknappheit auf den stationären Bereich ist offensichtlich ausgeprägter als diejenige auf den ambulanten Bereich. Der unterschiedlich starke Rückgang an Untersuchungshäufigkeit und applizierter Aktivität ist bei detaillierterer Betrachtung der Daten zu erklären. Offensichtlich wurden im Zeitraum der Nuklidknappheit hauptsächlich Untersuchungsarten reduziert durchgeführt, die einen hohen Nuklidbedarf haben. Bei Untersuchungen mit geringerem Nuklidbedarf, wie z. B. Schilddrüsenszintigraphien, sowie solchen,

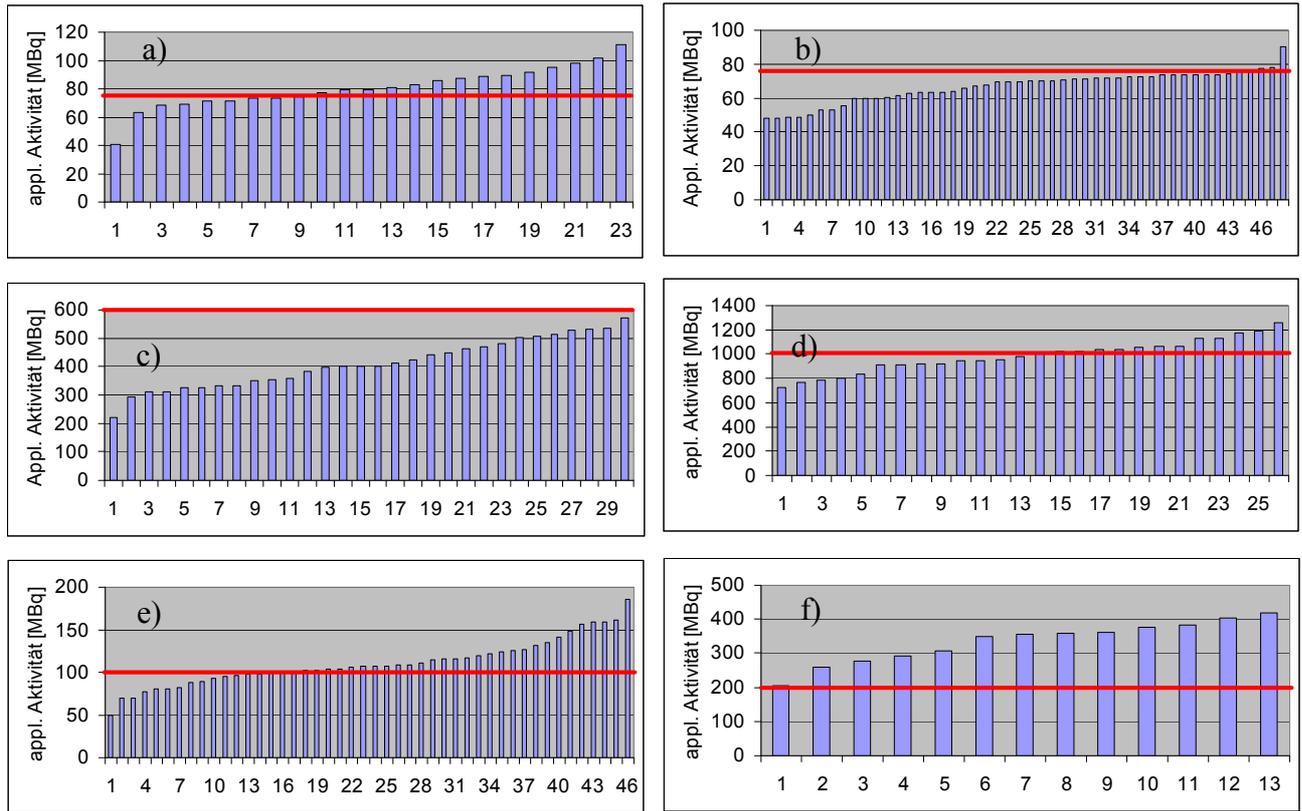


Abbildung 3:
In unterschiedlichen nuklearmedizinischen Einrichtungen applizierte Aktivität für a) Schilddrüsenszintigraphien mit Tc-99m, b) Myokardszintigraphien mit Tl-201, c) Myokardszintigraphien mit Tc-99m als Zweitagesprotokoll, d) Myokardszintigraphien mit Tc-99m als Eintagesprotokoll, e) Nierenszintigraphien mit MAG3, f) Ganzkörper PET-Untersuchungen mit F18-FDG (Fludeoxyglucose). Die aktuellen DRW für die Untersuchungen sind als rote Linie kenntlich gemacht

die fest in therapeutische Abläufe eingebunden sind, z. B. die SLN-Diagnostik, ist der Rückgang deutlich weniger stark ausgeprägt.

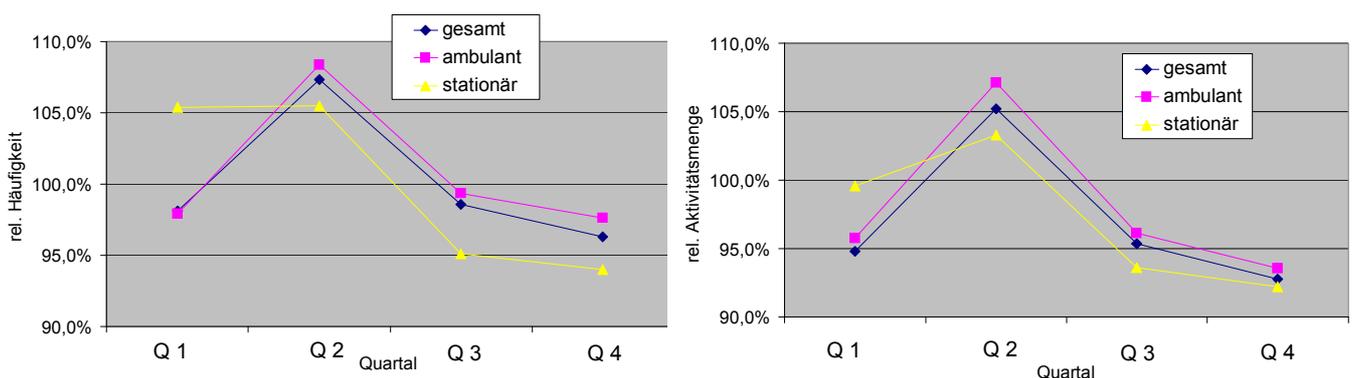


Abbildung 4:
relative Häufigkeit sowie relative Gesamtaktivitätsmenge an Tc-99m basierten Radiopharmaka in 2008 im Vergleich zum entsprechenden Quartal in 2007

In Abbildung 3 ist zu erkennen, dass nuklearmedizinische Einrichtungen mit teilweise deutlich unterschiedlicher Aktivität die gleichen Untersuchungen durchführen. Einen Hinweis auf die physikalische Qualität der Bil-

der gibt die Anzahl an Strahlungsquanten, die zum Bild beitragen. Unter der Prämisse, dass in den verschiedenen Einrichtungen mit ähnlicher Bildqualität gearbeitet wird, wäre daher anzunehmen, dass die applizierte Aktivität und die Aufnahmezeit einer Untersuchung gegenläufig korreliert sind, d. h. dass in Einrichtungen, die eine hohe Aktivität applizieren mit kurzen Aufnahmezeiten gearbeitet wird und umgekehrt. Dieses lässt sich für exemplarisch betrachtete Untersuchungen jedoch anhand der Daten nicht nachweisen. Es scheint vielmehr so, als würde in den verschiedenen nuklearmedizinischen Einrichtungen mit deutlich unterschiedlicher physikalischer Bildqualität gearbeitet.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse dieses Vorhabens verbessern die Grundlage zur Ermittlung der Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungsverfahren in Deutschland, die national in den Jahresberichten des BMU und international bei UNSCEAR veröffentlicht werden. Außerdem geben sie wesentliche Hinweise zur verabreichten Aktivität bei nuklearmedizinischen Untersuchungsverfahren und bilden somit eine wesentliche Grundlage für die Aktualisierung der Diagnostischen Referenzwerte.

Thema Ermittlung der effektiven Dosis bei DVT-Geräten im Verhältnis zu einer Messgröße			
Subject <i>Measurement of effective doses of CBCT devices in relationship to another measured value</i>			
Kennzeichen 3609S40003	Beginn 01.12.2009	Ende 30.04.2010	Fördermittel EUR 30.085,-
Forschungs- / Auftragnehmer PD Dr. D. Schulze, 79252 Stegen			
Projektleitung PD Dr. D. Schulze	Fachbetreuung BfS R. Veit / AG-SG 2.2		verantwortlich für den Text PD Dr. D. Schulze, R. Veit

1. ZIELSETZUNG

Ziel dieses Vorhabens war einerseits die Erhebung von Häufigkeitskennziffern von dentalen DVT (digitale Volumentomographie)-Systemen für Deutschland. Des Weiteren sollte bei den Systemen mit der größten Verbreitung die effektive Dosis ermittelt werden und zwar für minimale und maximale Expositionsparameter im Vergleich zum entsprechenden gemessenen Dosisflächenprodukt (DFP) zur Ermittlung von etwaigen geräte-spezifischen Konversions-Koeffizienten.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ERMITTLUNG DER RELATIVEN HÄUFIGKEIT

Die Ermittlung von Häufigkeitskennziffern dentaler DVT-Systeme und -Anwendungen war erforderlich, um eine Abschätzung der daraus resultierenden kollektiven effektiven Dosis vornehmen zu können.

2.2 ERMITTLUNG DER EFFEKTIVEN DOSEN IN RELATION ZU DOSISFLÄCHENPRODUKTEN

Die effektive Dosis ermöglicht eine Risikobewertung für diagnostische Untersuchungen mit ionisierenden Strahlen, die mit DVT-Systemen vorgenommen werden. Das DFP wurde dabei als Messgröße in Relation zur effektiven Dosis gesetzt und sollte dann gegebenenfalls die Berechnung der effektiven Dosis ermöglichen.

3. METHODIK

3.1 ERMITTLUNG DER RELATIVEN HÄUFIGKEIT

Zur Ermittlung der Kennziffern erfolgte eine Befragung der zuständigen Zahnärztlichen Stellen nach den im jeweiligen Bundesland gemeldeten DVT-Geräten. Diese wurde in Abstimmung mit der Bundeszahnärztekammer vorgenommen. Als Grundlage zur Abschätzung der Untersuchungszahlen wurden in einem Bundesland die vom zuständigen Sachverständigen dokumentierten Angaben ausgewertet.

3.2 ERMITTLUNG DER EFFEKTIVEN DOSEN IN RELATION ZU DOSISFLÄCHENPRODUKTEN

Die Ermittlung der effektiven Dosen erfolgte durch Expositionen eines mit Thermolumineszenzdosimetern (TLD) bestückten Rando-Phantoms bzw. anthropomorphen Kopfphantoms. Die Berechnung erfolgte nach den Regeln der ICRP¹⁾ 2007 (Publikation 103). Die TLD wurden durch die Firma PTW in Freiburg ausgelesen. Selbige Firma lieferte auch das Messinstrument für die parallel stattfindende Messung des DFP.

¹⁾ International Commission on Radiological Protection

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERMITTLUNG DER RELATIVEN HÄUFIGKEIT

Der Kontakt zu den jeweiligen Zahnärztlichen Stellen erfolgte auf schriftlichem und telefonischem Wege, idealerweise wurden die Informationen per E-Mail übermittelt.

4.2 ERMITTLUNG DER EFFEKTIVEN DOSEN IN RELATION ZU DOSISFLÄCHENPRODUKTEN

Die Dosimetrie wurde in Freiburg, in Baden-Württemberg bzw. an Standorten in der näheren Umgebung der Messorte durchgeführt, um ein zeitnahes Auslesen der TLD zu gewährleisten. Für die Durchführung wurde ein Messplan / Messkalender erstellt.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERMITTLUNG DER RELATIVEN HÄUFIGKEIT

Durch Befragung der Zahnärztlichen Stellen der einzelnen Bundesländer konnte folgende Verbreitung von DVT-Geräten in zahnmedizinischer Anwendung ermittelt werden (Tabelle 1):

Tabelle 1:

Anzahl von DVT-Geräten in zahnmedizinischer Anwendung in den einzelnen Bundesländern

Bundesland	Anzahl
Baden-Württemberg	129
Bayern	k. A.
Berlin	35
Brandenburg	18
Bremen	5
Hamburg	22
Hessen	40
Mecklenburg-Vorpommern	14
Niedersachsen	90
Nordrhein-Westfalen	140
Rheinland-Pfalz	k. A.
Saarland	3
Sachsen	36
Sachsen-Anhalt	18
Schleswig-Holstein	30
Thüringen	17

5.2 ERMITTLUNG DER EFFEKTIVEN DOSEN IN RELATION ZU DEN GEMESSENEN DOSIS-FLÄCHENPRODUKTEN

Die Auswertung der TLD und die anschließende Berechnung ergaben folgende Werte der effektiven Dosis:

Tabelle 2:

Gemessene effektive Dosis bei verschiedenen Gerätetypen, jeweils mit minimalen und maximalen Geräteeinstellungen

Gerät	Effektive Dosis bei minimalen Geräteeinstellungen [μSv]	Effektive Dosis bei maximalen Geräteeinstellungen [μSv]
3D Accuitomo FP [®]	48,6	312,1
3D eXam [®]	23,4	155,9
Kodak 9000 3D [®]	24,5	47,4

Kodak 9500 [®]	17,2	150,7
ProMax 3D [®]	22,4	356,8
Galileos Comfort [®]	51,1	95,3
Orthophos XG 3D [®]	43,1	175,9
Scanora 3D [®]	40,1	170,0
Master3Ds [®]	28,8	396,0
PaX-Duo3D [®]	18,9	227,6

Die Auswertung der Messungen zur Ermittlung des Dosisflächenproduktes ergab folgende Werte:

Tabelle 3:
Dosisflächenprodukt verschiedener Gerätetypen, jeweils mit minimalen und maximalen Einstellungen

Gerät	DFP (Messung) minimale Einstellungen [μGym^2]	DFP (Messung) maximale Einstellungen [μGym^2]
3D Accuitomo FP [®]	3,1	207,5
3D eXam [®]	4,6	71,5
Kodak 9000 3D [®]	3,3	91,6
Kodak 9500 [®]	2,8	122,2
ProMax 3D [®]	0,1	119,4
Galileos Comfort [®]	26,3	70,2
Orthophos XG 3D [®]	12,0	47,2
Scanora 3D [®]	14,1	118,6
Master3Ds [®]	6,0	550,7
PaX-Duo3D [®]	0,5	234,1

Die aktuelle Anzahl der in Deutschland gemeldeten DVT-Geräte lag bei 798. Hierzu musste eine Dunkelziffer von nicht bzw. noch nicht erfassten Geräten von ca. 10% berücksichtigt werden. Daraus ergab sich eine Häufigkeit von ca. 900 DVT-Systemen. Unter der Annahme, dass 20% der Geräte höher frequentiert (~1000 Aufnahmen / Jahr) und 80% der Geräte niedrig frequentiert (~220 Aufnahmen / Jahr) zum Einsatz kamen, ergab sich eine Aufnahmefrequenz von ca. 340.000 DVT- Untersuchungen pro Jahr. Wurde die aktuell ermittelte mittlere effektive Dosis von 137,8 μSv pro Untersuchung zu Grunde gelegt, trugen DVT-Untersuchungen nur unwesentlich zur Erhöhung der kollektiven effektiven Dosis bei (pro Einwohner ergibt sich eine Zunahme um 0,57 μSv).

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens zeigen, dass der Bereich der aus DVT-Untersuchungen resultierenden effektiven Dosen der Patienten mit 17 bis 400 μSv relativ groß ist. Daher ist eine Vorrichtung zur Anzeige der Strahlenexposition bei diesen Geräten sicher sinnvoll. Von den hier untersuchten 10 Gerätetypen haben bereits 7 eine DFP-Anzeige. Da in den nächsten Jahren mit einem weiteren Anstieg der Installationen von DVT-Geräten zu rechnen ist, sollte umgehend eine obligatorische DFP-Anzeige für diese Geräte gefordert werden.

Themenbereich 05
Radioökologie

Subject area 05
Radioecology

Thema Untersuchungen zur Auslaugbarkeit langlebiger Radionuklide aus Bauschutt			
Subject <i>Investigation of the leachability of long-lived radionuclides from demolition rubble</i>			
Kennzeichen 3608S04571	Beginn 26.02.2008	Ende 28.02.2010	Fördermittel EUR 149.859,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Braunschweig			
Projektleitung Dr. H.-J. Herbert	Fachbetreuung BfS C. Willrodt / SW 1.6	verantwortlich für den Text C. Willrodt	

1. ZIELSETZUNG

Ziel der Arbeiten war die experimentelle und modelltheoretische Untersuchung der Auslaugung von Uran, Thorium, Jod und Radium aus Bauschutt, der beim Rückbau von Kernkraftwerken anfällt und auf Oberflächendeponien dem natürlichen Wettergeschehen ausgesetzt ist. Durch experimentelle Untersuchungen an Bauschuttproben vorgegebener Zusammensetzung, Kontamination und Korngröße sollte das Auslaugverhalten unter mittleren meteorologischen Bedingungen (Regenmenge und -häufigkeit) in Deutschland ermittelt und mit Ergebnissen von Modellrechnungen verglichen werden. Zusätzlich sollten Kd-Werte der o. g. Nuklide am Bauschutt bestimmt und mit Literaturdaten für Baustoffe und Böden verglichen werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zum Erreichen der o. g. Ziele wurden folgende Einzelziele verfolgt:

- Eine Literaturrecherche sollte zur Ermittlung des Wissensstandes zu den Kd-Werten der genannten Radionuklide an Baustoffen und Böden führen;
- Mittels experimenteller Arbeiten sollten
 - a Kd-Werte der Radionuklide an den Baustoffen Schwerbeton, Normalbeton und Mörtel ermittelt und mit Literaturdaten verglichen werden,
 - b das Austragverhalten der Radionuklide aus den drei Materialien in repräsentativen Perkolationsversuchen bestimmt werden und
 - c das Freisetzungsverhalten der Radionuklide unter Gleichgewichtsbedingungen ermittelt werden;
- Es sollten Modelle entwickelt werden, welche die Migration von Radionukliden aus Bauschutt beschreiben. Modelliert werden sollte der gesättigte und ungesättigte Fluss im Porenraum einer Bauschutthalde.

3. METHODIK

3.1 EXPERIMENTELLE ARBEITEN

Schwerbeton, Normalbeton und Mörtel wurden hinsichtlich ihrer Rezeptur und der Korngrößen so hergestellt, dass sie für den auf Oberflächendeponien abgelagerten Bauschutt aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen möglichst repräsentativ waren. Die Betonproben wurden teils oberflächlich teils homogen, Mörtel nur homogen, mit Uran, Thorium, Iod und Radium kontaminiert. Mit diesen Proben wurden acht 200-Liter-Fässer befüllt, diese wurden künstlich bewässert und jeweils die Radionuklidkonzentration in den Perkolatfraktionen gemessen. Zusätzlich wurden Schüttelversuche durchgeführt. Die experimentell bestimmten Kd-Werte aus Schüttel- und Perkolationsversuchen wurden mit den Literaturdaten verglichen. Um das Auslaugverhalten von matrixkontaminiertem Schwerbeton unter Gleichgewichtsbedingungen zu ermitteln, wurden auch noch Batchversuche durchgeführt.

3.2 MODELLIERUNG

Die Modellierung des variabel gesättigten Wasserflusses und Stofftransports sowie der Stofffreisetzung wurden mit dem bodenhydrologischen Simulationswerkzeug Hydrus-1D durchgeführt. Die Gleichgewichtsmodellierung erfolgte mit der hydrogeochemischen Software PHREEQC unter Nutzung einer für die relevanten chemischen Prozesse geeigneten thermodynamischen Datenbasis.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 LITERATURERECHERCHE

Eine ausführliche Literaturstudie über die baustoff- und bodenspezifischen Sorptionsparameter für die Radionuklide Uran, Thorium, Jod und Radium wurde fertig gestellt. Im Bericht werden neben den Kd-Werten der o. g. Nuklide für Baustoffe und Böden auch Informationen über das Sorptionsverhalten, der bei der Freisetzung von Bauschutt aus kerntechnischen Anlagen möglicherweise eine Rolle spielenden Elemente Cäsium, Nickel, Kobalt, Eisen, Americium und Plutonium aufgeführt. Dafür wurden ca. 800 Literaturstellen gesichtet und 168 relevante Veröffentlichungen ausgewertet. Der Bericht wurde als GRS-258 mit der ISBN-Nr. 978-3-939355-33-5 veröffentlicht.

4.2 EXPERIMENTELLE ARBEITEN

Es wurden drei Arten von zementhaltigen Baustoffen, Schwerbeton (SSB), Normalbeton (NB) und Mörtel (ZM) hergestellt und mit Uran, Thorium, Jod und Radium kontaminiert. Die Kontamination erfolgte bei einem Teil der Proben oberflächlich und bei einem anderen Teil homogen in der Matrix. Die Radionuklidkonzentrationen in der Kontaminationslösung wurden so gewählt, dass Freigrenzen der StrlSchV erreicht, aber nicht überschritten wurden. Die Korngrößen für die Perkolationsversuche sollten denen auf einer Deponie möglichst nahe kommen, andererseits aber nicht größer sein als diejenigen, die eine belastbare Modellierung der ungesättigten hydraulischen Prozesse noch ermöglichen. Es wurden schließlich zwei Chargen gebildet mit den Korngrößen <20 und <45 mm. Mit oberflächlich und homogen kontaminierten Proben der drei Materialien wurden mittelgroße Laborlysimeter mit 200 Liter Fassungsvermögen befüllt (siehe Tabelle 1). Die Bewässerung mit künstlichem Regenwasser wurde so durchgeführt, dass sie das Niederschlagsregime in Norddeutschland simulierte. Die Konzentration der Radionuklide in den Perkolatfraktionen wurde gemessen.

Mit den drei Baustoffen wurden auch Schüttelversuche durchgeführt und Kd-Werte unter Gleichgewichtsbedingungen ermittelt. Es wurden zusätzlich Batchversuche mit matrixkontaminiertem Schwerbeton durchgeführt, bei denen das Feststoff-Lösungsverhältnis variiert wurde und die in die Lösung freigesetzten Hauptelemente und Radionuklide gemessen wurden.

Tabelle 1:

Kombinationen von Baustoffen, Kontaminationsmethoden und Korngrößenfraktionen

	Fass 1	Fass 2	Fass 3	Fass 4	Fass 5	Fass 6	Fass 7	Fass 8
Baustoff	NB	NB	SSB	SSB	ZM	SSB	SSB	SSB
Kontaminationsmethode	oberflächlich	homogen	oberflächlich	homogen	homogen	oberflächlich	homogen	oberflächlich
Korngröße [mm]	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 45	< 45	< 45

4.3 MODELLIERUNG

Im Zusammenhang mit den Lysimeterveruchen wurden unterschiedliche Modellierungen des variabel gesättigten Wasserflusses und Stofftransports sowie der Stofffreisetzung durchgeführt. Die Arbeiten umfassten

- Modellierungen zur Auslegung der Perkolationsversuche,
- Modellierungen zum Wasserfluss in den Versuchssystemen und Identifikation effektiver hydraulischer Eigenschaften,
- Modellierung des Durchbruchs eines nichtreaktiven Tracers zur Charakterisierung des Stofftransportregimes,
- Modellierung des Radionuklidaustrags und Identifikation linearer Verteilungskoeffizienten für die Perkolationsversuche sowie
- geochemische Gleichgewichtsmodellierung der Baustoffauslaugung.

5. ERGEBNISSE

5.1 LITERATURERECHERCHE

Statt des bei Böden üblichen Verteilungskoeffizienten K_d wird bei der Sorption von Radionukliden an Baumaterialien vielfach der Verteilungskoeffizient R_d ermittelt und beschrieben. Während die Bezeichnung K_d Gleichgewichtsbedingungen beinhaltet, muss beim R_d -Wert nicht notwendigerweise ein reversibles Gleichgewicht erreicht sein. Eine hundertprozentige Reversibilität ist nur gegeben, wenn es sich um reine Adsorption handelt. Die teilweise extremen Unterschiede zwischen Desorptions- und Sorptionskoeffizienten sowie die Tatsache, dass die Desorption häufig nicht vollständig ist, sprechen bei vielen Radionukliden gegen die Bezeichnung K_d .

Die in der Literatur gefundenen Sorptionskoeffizienten von Böden und Baustoffen wurden miteinander verglichen. Leider gibt es in der Literatur keine Untersuchungen von in diesem Vorhaben verwendeten barythaltigen Strahlenschutzbeton oder Mörtel.

Hinsichtlich der Sorption von Uran an unterschiedlichen Baustoffen schwanken die Literaturwerte in der Regel zwischen 100 und 10.000 L/kg. Bei Böden und Sedimenten liegen sie meist nahe Null und erreichen selten Werte von über 2.000 L/kg.

Bei Thorium schwanken die Sorptionswerte in Baustoffen meist zwischen 100 und 5.000 L/kg. Bei Böden sind die K_d -Werte ähnlich wie bei Uran.

Sowohl bei Baustoffen als auch bei Böden liegt der Sorptionskoeffizient von Iod häufig nahe 0 und selten werden höhere Werte als 200 L/kg registriert.

Zu Radium gibt es nur wenig Literatur. Die Radium-Werte für Beton liegen zwischen 30 und 5.000 L/kg, wobei die Mehrheit der Werte deutlich unter 1.000 L/kg liegt. Bei Böden sind es meist etwa 500 L/kg, nur in quellfähigen Tonmineralen werden sehr hohe Werte erreicht.

5.2 MODELLIERUNG

Das hydraulische Verhalten der Versuchssysteme konnte mit sehr guter Übereinstimmung zu den Messdaten modelltechnisch abgebildet werden. Der ungesättigte Wasserfluss wurde mit der Richardsgleichung simuliert und effektive bodenhydraulische Funktionen für alle Fässer durch inverse Modellierung (Programmpaket Hydrus-1D) identifiziert. Die Ergebnisse zeigen, dass lediglich Anteile zwischen 15 und 33% des Wassers in den Versuchssystemen als mobil zu charakterisieren sind und direkt am Stofftransport teilnehmen. Aus den Tracerdurchbrüchen konnte nicht auf einen Austausch zwischen der mobilen und immobilen Region geschlossen werden, da die geschätzten Werte des Austauschkoeffizienten unter den experimentellen Bedingungen für alle Fässer nahe Null waren. Die Dispersionslängen lagen sämtlich im erwarteten Bereich zwischen 1 cm und 15 cm. Sie streuten zwar relativ stark zwischen den Fässern, lagen jedoch in den Fässern mit der gröberen Körnung (<45 mm) systematisch höher als in den übrigen Fässern (<20 mm).

Die gemessenen Perkolatkonzentrationen für U-238 und I-127 fielen in allen Fällen mit der Zeit ab, wohingegen die Th-232-Konzentrationen erhebliche Fluktuationen aber keinen zeitlich abfallenden Trend zeigten. Mit den aus den Tracerdurchbrüchen gewonnen Parametern wurden inverse Simulationen des Austrags der Radionuklide für U-238, Th-232 und I-127 mit dem Programmpaket Hydrus-1D unter Nutzung des MIM durchgeführt, um effektive K_d -Werte zu bestimmen. Das simulierte Niveau der Perkolatkonzentrationen stimmte grundsätzlich gut mit den Messungen überein. Die bestimmten K_d -Werte lagen für U-238 und Th-232 über 30 l/kg. Der initiale Abfall der Urankonzentration in den Perkolaten konnte nicht mit dem Stofftransportmodell beschrieben werden, da dieses für U-238 und Th-232 in allen Fällen zeitlich konstante Konzentrationen vorhersagt. Möglicherweise werden die initial hohen Konzentrationen durch partikelgebundenen Transport oder durch Komplexbildung mit anderen Spezies hervorgerufen. Für I-127 konnten die abfallenden Perkolatkonzentrationen mit dem Modell beschrieben werden, da die K_d -Werte nahe eins lagen. Es wurden zusätzlich nach einem vereinfachten Berechnungsverfahren K_d -Werte für das erste ausgetragene Porenvolumen (bezogen auf die mobile Region) berechnet. In den Fällen, wo die Konzentration im ersten Porenvolumen am höchsten war, führte dies zu verringerten K_d -Werten, die in konservative Risikoabschätzungen verwendet werden können, um initiale Konzentrationen unterhalb einer Bauschutzdeponie vorhersagen zu können.

Die aus Batch- und Perkolationsversuchen bestimmten K_d -Werte wurden mit K_d -Werten aus der Literatur für Baustoffe und Böden verglichen. Die Problematik der Bestimmung belastbarer K_d -Werte für zementhaltige Baustoffe wurde diskutiert. Als Fazit ergibt sich, dass die aus Perkolationsversuchen abgeleiteten Verteilungskoeffizienten das Verhalten der Radionuklide auf einer Bauschutthalde am besten beschreiben.

Die Szenariorechnungen auf der Deponieskala belegen, dass in konservativen Risikoanalysen an Stelle des Zwei-Regionen-Modells (Mobil-Immobil-Modell=MIM) besser das Ein-Regionen-Modell (convection-dispersion-Equation=CDE) anzuwenden ist, da in diesem Fall der gesamte Schadstoffvorrat als verfügbar und am Austragsgeschehen beteiligt angesehen wird. In allen Fällen sagte das MIM geringere oder identische Konzentrationen voraus als das auf der CDE basierende Vergleichsszenario. Für Kd-Werte größer als 10 l/kg muss für die ersten 100 Jahre nach Ausbringung des Bauschutts immer von einer zeitlich konstanten Quelle ausgegangen werden. Aus diesem Grund steht für die Radionuklide U-238 und Th-232 nicht die Bestimmung eines zeitlichen Verlaufs in Form einer Abklingfunktion für die Quellstärke oder die Bestimmung eines mobilisierbaren Vorrats zur Bestimmung langfristig auftretender Frachten im Vordergrund von Risikoanalysen, sondern ausschließlich die Bestimmung der sich initial in der flüssigen Phase am unteren Rand der Deponie einstellenden Konzentration. Bezogen auf die in diesem Vorhaben durchgeführten Arbeiten sollte das Hauptaugenmerk zukünftiger Untersuchungen daher einer besseren statistischen Absicherung dieser initial zu erwartenden Konzentration gelten, wobei zu berücksichtigen ist, dass die bisherigen Versuche unter relativ hohen Perkolationsgeschwindigkeiten und entsprechend geringen Aufenthaltszeiten durchgeführt wurden und daher nicht als konservativ anzusehen sind.

Mit der geochemischen Software PHREEQC wurden die Versuche zur Radionuklidmobilisierung unter Gleichgewichtsbedingungen bei unterschiedlichen Feststoff/Lösungsverhältnissen simuliert und mit den experimentell ermittelten Daten verglichen. Die in der Modellierung verwendete thermodynamische Datenbasis, einschließlich der betrachteten Bodenkörper (CSH-Phasen) sind in der Lage, die komplexen chemischen Abläufe zufriedenstellend zu beschreiben. Dies zeigt, dass die chemischen Prozesse bei der Auflösung von Bauschutt relativ gut verstanden werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die in den Zwischen- und Schlussberichten dargestellten Ergebnisse fließen in laufende Arbeiten des BfS zum Grundwasserpfad z. B. im Rahmen der Erstellung von Modellen zur Freigabe schwach radioaktiv kontaminierter Stoffe ein. Dies betrifft beispielsweise die hydraulischen Parameter von Bauschutt (sogenanntes van Genuchten-Mualem-Modell): bei Szenarienberechnungen zur Freigabe von schwach radioaktiv kontaminierten Stoffen zur Beseitigung auf Bauschuttdeponien wird beim Wasserpfad davon ausgegangen, dass ein Teil der noch im Material enthaltenen Radionuklide durch eindringendes Regenwasser aus der Deponie ausgewaschen wird und somit in oberflächennahes Grundwasser gelangen kann. Im Fall von porösen Materialien (hier Bauschutt) ist zur Berechnung der Fließbewegung des Wassers die Kenntnis der entsprechenden hydraulischen Parameter erforderlich. Sie wurden im vorliegenden Projekt für verschiedene Korngrößenfraktionen experimentell bestimmt.

Zur besseren Beurteilung des eigentlichen Radionuklidtransports ist die Kenntnis der Sorption der Radionuklide an das von Wasser durchströmte Medium wesentlich. Die entscheidende Kenngröße hierbei ist der Kd-Wert. Durch zahlreiche Experimente und Inversmodellierung wurden im Rahmen des Projektes Kd-Werte für einige für den Wasserpfad relevante Elemente bestimmt, z. B. für Jod. Die Bestimmung dieser Werte ist für die Beurteilung der am BfS bisher verwendeten Kd-Werte von Bedeutung und teilweise bereits in aktuelle Arbeiten eingeflossen. Das Forschungsvorhaben bietet über die Berichte ferner einen nützlichen Fundus an Literaturstellen, Rechenverfahren und Datenmaterial, der in aktuelle und künftige Untersuchungen zum Wasserpfad am BfS Eingang finden wird.

Themenbereich 06
Notfallschutz

Subject area 06
Emergency management

Thema Aus- und Weiterbildung von Ärzten im Strahlenunfallmanagement			
Subject <i>Education and advanced training of physicians in radiation accident management</i>			
Kennzeichen 3607S04541	Beginn 01.10.2007	Ende 31.03.2010	Fördermittel EUR 151.034,-
Forschungs- / Auftragnehmer Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universität Würzburg, Würzburg			
Projektleitung Prof. Dr. Chr. Reiners	Fachbetreuung BfS A. Erzberger / AG-SG 2.1	verantwortlich für den Text Prof. Dr. Chr. Reiners, Dr. R. Schneider	

1. ZIELSETZUNG

Vorrangiges Ziel des Forschungsvorhabens war es, Notärzte für die Herausforderung durch Einsatzlagen mit radiologischen und nuklearen Gefährdungen durch die Vermittlung notwendiger strahlenmedizinischer Spezialkenntnisse im präklinischen Strahlenunfallmanagement zu qualifizieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Einzelzielsetzungen beinhalteten

- die Entwicklung eines Curriculums im präklinischen Strahlenunfallmanagement für einen Grundkurs zur Aus- und Weiterbildung von Ärzten,
- die Erarbeitung entsprechender Kursunterlagen und Erprobung des Curriculums und
- die Kursevaluierung und Bereitstellung eines Mustercurriculums.

3. METHODIK

Die Konzeption des Curriculums stützte sich auf die Recherche einschlägiger Fachliteratur, die Einbindung der Diskussionen und Ergebnisse von zwei Fachgesprächen sowie die Mitarbeit externer Experten. Die Entwicklung des Curriculums beinhaltete die Definition der Lernziele, Ermittlung der Lerninhalte und Erstellung der Lehrmaterialien. Um das Curriculum in der Praxis zu erproben, wurden 2009 und 2010 zwei Pilotkurse organisiert und durchgeführt. Basierend auf der Auswertung der Kenntnissnachweise und Evaluierungsfragebögen der Kursteilnehmer wurde ein Mustercurriculum erstellt.

4. DURCHFÜHRUNG

Der Verlauf der Projektdurchführung war in 4 Phasen gegliedert:

1. Vorbereitungsphase,
2. Entwicklungsphase,
3. Testphase und
4. Optimierungsphase.

Zum Abschluss der Vorbereitungs- und der Testphase fand jeweils ein Fachgespräch des Projektteams mit Mitarbeitern des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) statt.

4.1 VORBEREITUNGSPHASE

In der Vorbereitungsphase wurde eine Internet- und Literaturrecherche zum Themenbereich durchgeführt und ein Überblick über bestehende Fortbildungskonzepte erstellt. Für die Entwicklung des Curriculumkonzeptes wurden basierend auf der Beschreibung unterschiedlicher Strahlenunfallszenarien mögliche Unfallfolgen hinsichtlich der Schädigungsart und des Unfallausmaßes dargestellt. Die ärztlichen Aufgaben innerhalb der präklinischen Rettungskette wurden ermittelt und Notärzte als Zielgruppe für das Curriculum identifiziert. In Ein-

satzablauf-Flussdiagrammen wurde das präklinische Management für unterschiedliche Strahlenunfallszenarien zusammengefasst. Zum Abschluss der Vorbereitungsphase wurde das ausgearbeitete Konzept des Curriculums Vertretern der Fachbehörde in einem 1. Fachgespräch präsentiert und die Ergebnisse dieses Fachgesprächs in die folgende Entwicklungsphase eingebracht.

4.2 ENTWICKLUNGSPHASE

In der Entwicklungsphase wurden die erforderlichen Lehrinhalte ermittelt, deren Umfang festgelegt, die Lernziele identifiziert, die Struktur des Curriculums in einem Modellstundenplan festgehalten und das Lehrmaterial ausgewählt. Zur Dokumentation des Lernerfolgs des Pilotkurses wurde ein schriftlicher Kenntnissnachweis und zur Bewertung des Pilotkurses durch die Teilnehmer ein Evaluationsfragebogen entwickelt.

4.3 TESTPHASE

In der Testphase wurde der 1. Pilotkurs organisiert, im Juni 2009 durchgeführt und evaluiert und die Ergebnisse in einem 2. Fachgespräch vorgestellt.

4.4 OPTIMIERUNGSPHASE

Die aus dem 2. Fachgespräch resultierenden Änderungs- und Verbesserungsvorschläge wurden in der Optimierungsphase umgesetzt, in der das Curriculum organisatorisch, inhaltlich und methodisch nachbereitet, weiterentwickelt und im 2. Pilotkurs im Februar 2010 erneut getestet und evaluiert wurde. Abschließend wurde ein Foliensatz für ein Mustercurriculum zusammengestellt.

5. ERGEBNISSE

5.1 1. PILOTKURS

5.1.1 Entwicklung des Curriculums

Die Recherche und Analyse der nationalen und internationalen Fachliteratur sowie elektronischer Medien zum Themenbereich hatte die Bestandsaufnahme bestehender Kurskonzepte zum Ziel. Stärken und Schwächen einzelner Unterrichtsangebote wurden hinsichtlich der Zielgruppe und der verwendeten Unterrichtsmaterialien vergleichend dargestellt. Der Überblick über den aktuellen Stand verfügbarer Unterrichtsangebote im medizinischen Strahlenunfallmanagement zeigte, dass es bisher nur wenige Kursangebote im präklinischen Strahlenunfallmanagement gibt. Die in der Literatur beschriebenen Curricula zielen auf andere Teilnehmerkreise ab, vermitteln andere Inhalte oder sind nur im Ausland verfügbar.

Inhalte des Curriculums umfassten strahlenmedizinisch relevante Grundlagen und orientierten sich an den ärztlichen Aufgaben der präklinischen Rettungskette. Folgende Themen wurden als Kurs-relevant ausgewählt und als Module in das Curriculum aufgenommen: Strahlenphysik, Strahlenbiologie, Strahlenunfallszenarien und Strahlenschäden, Selbstschutz, spezielles Strahlenunfallmanagement, Notfallfallmedizin und Einsatz- und Führungslehre bei einem Strahlenunfall größeren Ausmaßes (Tabelle 1).

Tabelle 1:
Module, Lernziele und Einzelthemen

Module	Lernziele	Einzelthemen
Strahlenphysik	Verstehen der Terminologie Kennen der Grundlagen der Strahlenphysik Kennen der Nachweis- und Messtechniken	Dosisbegriffe und -einheiten Charakteristik verschiedener Strahlenarten Dosisabschätzung externer Bestrahlung Richtwerte bei Hautkontamination Messgeräte
Strahlenbiologie	Kennen der Grundlagen der biologischen Wirkung ionisierender Strahlung	Prinzipien der Strahlenwirkung deterministische / stochastische Effekte Akut- und Langzeiteffekte
Strahlenunfallszenarien, Strahlenschäden	Kennen verschiedener Strahlenunfallszenarien Kennen assoziierter Krankheitsbilder	Anwendung ionisierender Strahlung Strahlenunfallszenarien Expositionswege Strahlenschäden Klinische Frühsymptomatik

Selbstschutz von Einsatzkräften	Verstehen der Grundlagen des Selbstschutzes Kennen der Selbstschutzausrüstung	Gefahren durch radioaktive Stoffe Risikoerschätzung Selbstschutzmaßnahmen, -ausrüstung Dosisrichtwerte, Überwachung Kontaminationsvermeidung Raumordnung (Bereich, Schleusen)
Einsatz- und Führungslehre	Kennen der Grundzüge von Einsatzabläufen	Ärztliche Rolle und Aufgabe am Unfallort Interaktion der Einsatzkräftegruppen
Notfall- und Katastrophenmedizin	Kennen der Grundlage von Notfall- und Katastrophenmedizin	Sofortmaßnahmen Traumasichtung Registrierung Patientenablage, Behandlungsplatz Transportlogistik
Spezielles Strahlenunfallmanagement	Kennen der Grundlagen präklinischer Versorgung bei radiologischen oder nuklearen Unfällen	Radiologische Sichtung Grenzen der präklinischen Versorgung Anwendung von Ablaufdiagrammen Basisregeln der Dekontamination Grundbegriffe der Sequentialdiagnostik
Praxis – Selbstschutz	Anwenden der Selbstschutzausrüstung	Demonstration der Selbstschutzausrüstung

Diese acht didaktisch aufeinander aufbauenden Module bildeten die Kursstruktur. Das im Modul benannte Hauptthema war in Einzelthemen untergliedert, die die zu vermittelnden Kenntnisse beschrieben und denen jeweils Lernziele zugeordnet waren.

Als Unterrichtsmethoden zur Themenvermittlung wurden Lehrvorträge (Präsentationen) und eine Demonstration gewählt. Mit sieben Präsentationen und einer Demonstration überwog der Theorieanteil. Da das Curriculum für einen Grundkurs entwickelt wurde und die Wissensvermittlung stärker im Vordergrund stand als die Anwendung, war der hohe Theorieanteil erwünscht. Das Ergebnis wurde in einem Musterstundenplan dargestellt, der die Module und ihre Dauer wiedergibt (Abbildung 1).

Zeit		Module	Hauptthema
09:00	Einführung - Konzept und Ziele des Kurses		
09:15	Grundwissen I	Modul 1	Strahlenphysik
10:00		Modul 2	Strahlenbiologie
10:45	Kaffeepause		
11:00	Grundwissen II	Modul 3	Strahlenunfallszenarien
11:45		Modul 4	Selbstschutz
12:30	Mittagspause		
13:15	Management	Modul 5	Einsatz- und Führungslehre
14:00		Modul 6	Notfallmedizin
14:45		Modul 7	Spezielles Strahlenunfallmanagement
15:30	Kaffeepause		
15:45	Praxis	Modul 8	Demonstration Selbstschutzausrüstung
16:30	Test		
ab 17:15	Kurs-Evaluation		

Abbildung 1:
Musterstundenplan 1. Pilotkurs

5.1.2 Kursdurchführung

Der 1. Pilotkurs fand am 27.06.2009 in der Staatlichen Feuerweherschule Würzburg statt. Die Bayerische Landesärztekammer zertifizierte den Pilotkurs mit 8 CME (Continuing Medical Education)-Punkten. Mit 16 Teilnehmern wurde die angestrebte Kursgröße erreicht.

Der Lernerfolg wurde mit einem schriftlichen Kenntnissnachweis bestehend aus 20 Multiple Choice Fragen mit je drei bis fünf Fragen aus jedem Themengebiet nachgewiesen.

In diesem Test zeigten die Teilnehmer ein sehr gutes bis gutes Wissen in allen Themenbereichen. Durchschnittlich beantworteten die Teilnehmer 15,5 der 20 Fragen (77%) richtig. Im Mittel wurde jede Frage von 12,5 (78%) der 16 Teilnehmer richtig beantwortet, wobei die Zahl der Teilnehmer mit richtigen Antworten zwischen 8,6 (54%) und 14,7 (92%) schwankte je nach Thema bzw. Dozent (Abbildung 2).

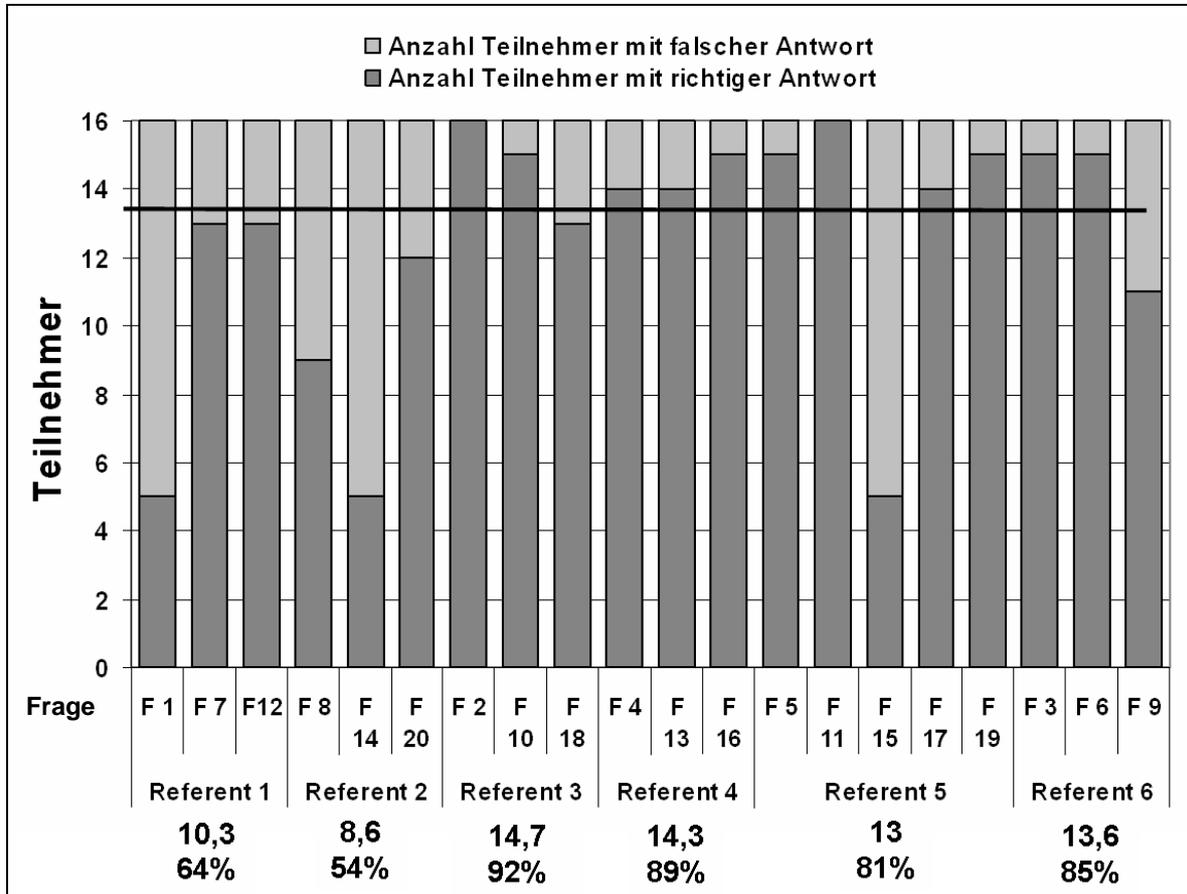


Abbildung 2:
Kenntnissnachweis 1. Pilotkurs - Anzahl Teilnehmer mit richtiger / falscher Antwort nach Fragen und Themengebiet (Durchgezogene Linie: arithmetisches Mittel)

5.1.3 Kursevaluation

Für die Kurs begleitende Evaluation wurde ein anonymisierter Fragebogen entwickelt. Die 23 geschlossenen Fragen berücksichtigten folgende Kriterien: Inhalt, Umfang und Schwierigkeitsgrad, Struktur, Tempo, Methodik, Unterlagen, Rahmenbedingungen des 1. Pilotkurses sowie Motivation, Interesse und Erwartungen der Teilnehmer. Der Grad der Zustimmung zu den Aussagen 1 bis 21 wurde auf einer fünfstufigen Rangskala erfasst: +2 „voll und ganz einverstanden“, +1 „überwiegend einverstanden“, 0 „teils / teils einverstanden“, -1 „eher nicht einverstanden“ bis -2 „gar nicht einverstanden“.

Die quantitative Evaluation bestätigte das Curriculum und den 1. Pilotkurs. Als Hauptmotiv für den Besuch des Kurses wurde überwiegend das Thema genannt. In der Gesamtbewertung nach dem Schulnotensystem erhielt der Kurs von acht Teilnehmern die Note „1“ und von sieben Teilnehmern die Note „2“, ein Teilnehmer machte keine Angaben.

Für Kommentare der Teilnehmer und die Beurteilung der Dozenten standen die vier offenen Fragen zur Verfügung (Tabelle 2), auf die es insgesamt 80 Äußerungen gab. Beibehalten werden sollten nach Meinung der Teilnehmer Ort und Termin der Veranstaltung. Auch die Themenvielfalt, der Praxisteil und die Ausgabe der

Unterlagen sollten unverändert bleiben. Änderungswünsche gab es nur relativ wenige, mehrheitlich bezogen sie sich auf die Methodik; so wurden ein größerer Praxisbezug und mehr Zeit für Diskussionen gewünscht.

Tabelle 2:
Evaluationsfragen 1. und 2. Pilotkurs (offene Fragen)

Offene Fragen	
Was hat Ihnen besonders gefallen?	Was hat Sie am meisten gestört?
Was sollte beibehalten werden?	Was sollte geändert werden?

Zum Abschluss dieser Phase wurden die Ergebnisse der Evaluierung im 2. Fachgespräch präsentiert. Die Empfehlungen aus dem Fachgespräch dienten als Grundlage für die Erarbeitung von Empfehlungen zur Verbesserung und Weiterentwicklung des Curriculums.

5.2 2. PILOTKURS

5.2.1 Curriculumentwicklung

Für den 2. Pilotkurs wurden die Inhalte des Curriculums teilweise unverändert beibehalten (Strahlenphysik, Strahlenbiologie, Selbstschutz), teilweise zusammengelegt und / oder gekürzt (Strahlenunfallszenarien, spezielles Strahlenunfallmanagement, Einsatz- und Führungslehre, Notfallmedizin), um Redundanzen zu vermeiden und um insbesondere Zeit für das neue Praxismodul, die Table-Top-Übung, zu gewinnen. Im Ergebnis umfasste das Curriculum unverändert acht Module, die in einem überarbeiteten Modellstundenplan dargestellt wurden.

5.2.2 Kursdurchführung

Die Rahmenbedingungen des 2. Pilotkurses, der am 06. Februar 2010 durchgeführt wurde, blieben unverändert. Die Bayerische Landesärztekammer zertifizierte den Kurs mit 11 CME-Punkten. Die angestrebte Kursgröße wurde mit 23 Teilnehmern leicht überschritten.

Zur Überprüfung des Lernerfolgs wurde der Multiple Choice Fragenbogen des 1. Pilotkurses den Inhalten des 2. Pilotkurses angepasst und bestand nunmehr aus 22 Multiple Choice Fragen. Die 21 Teilnehmer, die am Test teilnahmen, schnitten im Vergleich zu den Teilnehmern des 1. Pilotkurses etwas besser ab. Durchschnittlich beantworteten die Teilnehmer 17,8 (85%) der 22 Fragen richtig. Verglichen mit dem 1. Pilotkurs war die Spannweite größer und lag zwischen 11 und 22 richtigen Antworten. Im Mittel wurde jede Frage von 17 (81%) der 21 Teilnehmer richtig beantwortet, wobei die durchschnittliche Zahl der Teilnehmer mit richtigen Antworten je nach Thema bzw. Dozent zwischen 13,3 (63%) und 19,7 (94%) schwankte.

5.2.3 Kursevaluation

Der Evaluationsfragebogen wurde für den 2. Pilotkurs angepasst und umfasste insgesamt 26 geschlossene sowie unverändert die vier offenen Fragen (vgl. Tabelle 2).

Wie die Antworten der Teilnehmer auf die Fragen 1 bis 24 zeigten, bestätigte die quantitative Evaluation durch die Teilnehmer auch den 2. Pilotkurs (Abbildung 3). Verglichen mit der Bewertung der anderen Module wurde die Table-Top-Übung am uneinheitlichsten und am kritischsten bewertet (Fragen 6, 16 und 23).

Wie beim 1. Pilotkurs war das Thema das Hauptmotiv für den Besuch des 2. Pilotkurses (Frage 25). In der Gesamtbeurteilung nach dem Notensystem (Frage 26) erhielt der Kurs von 12 Teilnehmern die Note "1" und von acht Teilnehmern die Note "2", zwei Teilnehmer machten keine Angaben.

Die qualitative Auswertung der vier offenen Fragen beruhte auf insgesamt 51 Äußerungen. Auffällig war auch beim 2. Pilotkurs die hohe Zahl positiver Antworten zur Organisation sowie zu den Referenten. Beibehalten werden sollte nach Meinung der Teilnehmer der praktische Teil.

5.3 MUSTERFOLIEN

Form und Layout der Musterfolien wurden vom Projektteam erstellt und der Inhalt der Musterfolien von den Referenten der jeweiligen Module in enger Abstimmung und Kooperation entwickelt.

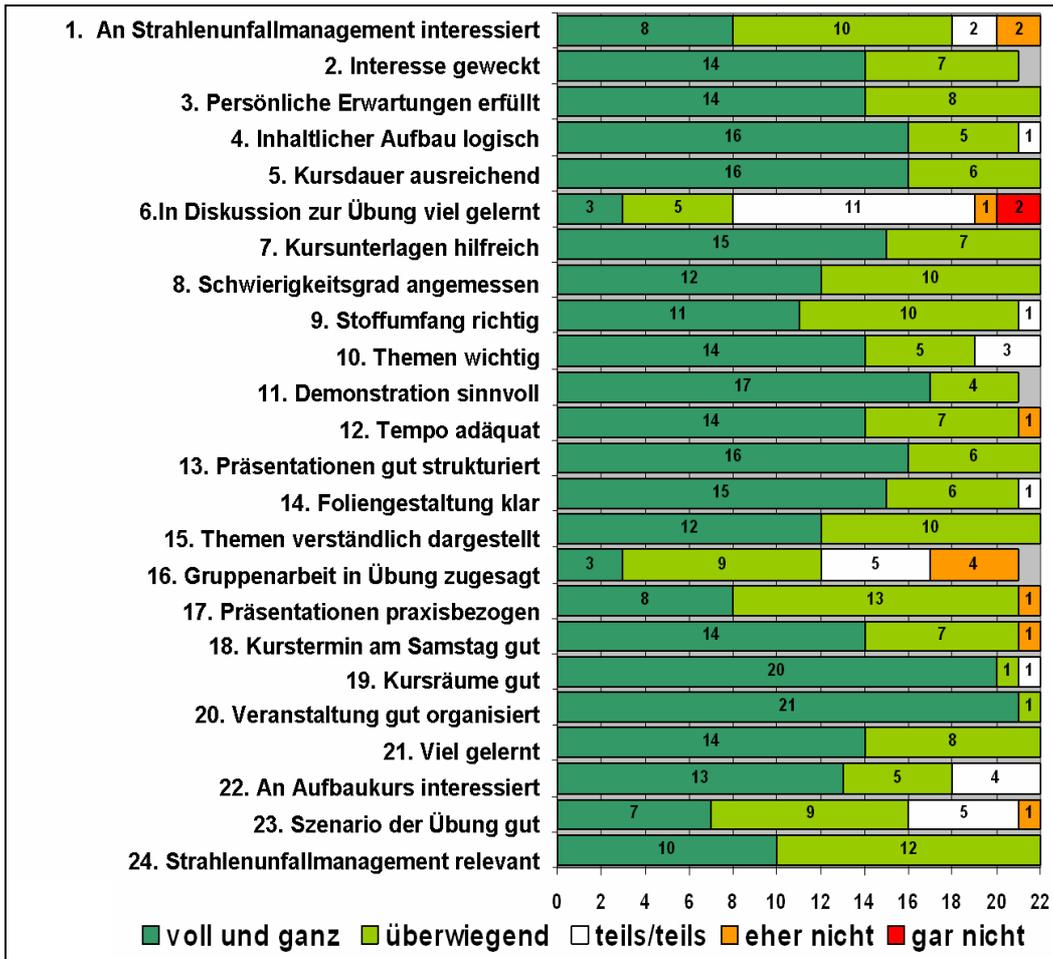


Abbildung 3:
Evaluationsergebnisse 2. Pilotkurs - Grad der Zustimmung

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das im Rahmen des Vorhabens erarbeitete Konzept (Curriculum) mit den entsprechenden Kursunterlagen findet Anwendung in Form eines Trainingskurses der Aus- bzw. Weiterbildung des ärztlichen Personals in Hinblick auf die frühe Phase nach einem Strahlenunfall.

Das Thema Strahlenunfallmanagement wurde von der Bundesärztekammer als offizielles Fortbildungsthema für Notärzte empfohlen. Es ist geplant, das Curriculum als Modul bundesweit in das Fortbildungsangebot für Ärzte einzubringen.

Thema Quelltermprognosen als Eingabedaten für das Entscheidungshilfesystem RODOS bei Ereignissen im Nichtleistungsbetrieb			
Subject <i>Source term predictions used as input data for the real-time online decision support system RODOS in case of an event in a nuclear power plant during shutdown periods</i>			
Kennzeichen 3608S04568	Beginn 01.02.2008	Ende 30.09.2010	Fördermittel EUR 150.535,-
Forschungs- / Auftragnehmer TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München			
Projektleitung Dr. C. Schauer	Fachbetreuung BfS N. Zander / SW 2.2		verantwortlich für den Text Dr. C. Wallner, Dr. C. Schauer

1. ZIELSETZUNG

Mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS¹⁾ für den externen Notfallschutz nach kerntechnischen Unfällen können die zu erwartende Ausbreitung von im Ereignisfall freigesetzten radioaktiven Stoffen in der Umwelt, die Kontamination von Luft, Boden, Pflanzen und Nahrungsmitteln sowie die daraus resultierende Strahlenexposition für die Bevölkerung abgeschätzt werden. RODOS verfügt hierfür über eine Quelltermbibliothek, deren Eingabedaten sich bezüglich der im Ereignisfall anzunehmenden Freisetzungskategorien bislang ausschließlich auf Leistungsbetriebszustände von Kernkraftwerken beziehen. Ziel dieses Vorhabens war es daher, Vorschläge zur Ergänzung der Quellterm-Eingabedaten in RODOS hinsichtlich der für die Umgebung von Kernkraftwerken radiologisch relevanten Nichtleistungsbetrieb-Ereignisverläufe zu erarbeiten.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ERMITTLUNG DER UNFALLABLAUFSZENARIEN

Aufbauend auf den Ergebnissen einer probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) der Stufe 1 für den Nichtleistungsbetrieb sollten beispielhaft für ein Kernkraftwerk mit Siedewasserreaktor (SWR) und ein Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor (DWR) die Unfallabläufe ermittelt werden, die zu einem Anlagenzustand führen, bei dem es zu einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umgebung kommt.

2.2 ZUSAMMENSTELLUNG DER BEI DER LAGEBEWERTUNG IN EINEM RADIOLOGISCH RELEVANTEN EREIGNISFALL ZU BERÜCKSICHTIGENDEN FREISETZUNGSKATEGORIEN

Ziel war die Abschätzung der Menge, der entsprechenden Radionuklidzusammensetzung, der Freisetzungswegen und des zeitlichen Verlaufs der bei einem schweren Störfall in die Umgebung freigesetzten radioaktiven Stoffe.

2.3 BEWERTUNG RADIOLOGISCHER KONSEQUENZEN VON EREIGNISVERLÄUFEN IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB

In diesem Schritt sollte die Relevanz der unter 2.2 abgeschätzten Radionuklidfreisetzungen für die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung bewertet werden.

2.4 VERGLEICHENDE ANALYSE ZU RADIOLOGISCHEN KONSEQUENZEN BEI EREIGNISVERLÄUFEN IM LEISTUNGS- UND NICHTLEISTUNGSBETRIEB

Ziel war der Vergleich der radiologischen Konsequenzen von schweren Störfällen im Nichtleistungsbetrieb und Leistungsbetrieb.

¹⁾ Real-time online decision support system

2.5 EMPFEHLUNGEN ZUR AUFNAHME VON QUELLTERMPROGNOSEN FÜR EREIGNISSE IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB IN DIE RODOS-QUELLTERMDATENBANK

Als Ergebnis der unter 2.2 bis 2.4 durchgeführten Analysen und Arbeiten wurden zur Aufnahme in die RODOS-Quelltermdatenbank sowohl für eine DWR-Anlage als auch für eine SWR-Anlage jeweils Quellterme für radiologisch relevante Freisetzungskategorien vorgeschlagen, die bei der Lagebewertung bei Ereignissen im Nichtleistungsbetrieb zu berücksichtigen sind.

3. METHODIK

Die Ermittlung der Unfallablaufszenarien erfolgte auf der Grundlage der Ergebnisse vorliegender probabilistischer Sicherheitsanalysen der Stufe 1 für den Nichtleistungsbetrieb und unter Berücksichtigung von Untersuchungen zum Ablauf schwerer Störfälle beim Nichtleistungsbetrieb. Bei der Quelltermmittlung wurden die Ergebnisse vorliegender nationaler und internationaler Untersuchungen zu Freisetzungsanteilen und dem zeitlichen Verlauf der Freisetzung einbezogen. Die Ermittlung der radiologischen Konsequenzen erfolgte in Anlehnung an die Modelle und Parameter der Störfallberechnungsgrundlagen. Die hierfür erforderlichen Ausbreitungsrechnungen erfolgten nach dem deterministischen Verfahren der Störfallberechnungsgrundlagen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERMITTLUNG DER UNFALLABLAUFSZENARIOEN

Aufbauend auf den Ergebnissen einer PSA der Stufe 1 für den Nichtleistungsbetrieb wurden für repräsentative Kernschadenzustände unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorliegender Untersuchungen zum Ablauf schwerer Störfälle beim Nichtleistungsbetrieb Unfallablaufanalysen durchgeführt und entsprechende vereinfachte Unfallablaufbäume erstellt. In diese Analysen wurden sowohl Ereignisverläufe bei geschlossenem als auch bei geöffnetem Reaktordruckbehälter mit einbezogen.

4.2 ZUSAMMENSTELLUNG DER BEI DER LAGEBEWERTUNG IN EINEM RADIOLOGISCH RELEVANTEN EREIGNISFALL ZU BERÜCKSICHTIGENDEN FREISETZUNGSKATEGORIEN

Anhand der unter 4.1 erstellten Unfallablaufbäume wurden typische Freisetzungskategorien festgelegt, die die relevanten Freisetzungspfade abdecken. Für diese Freisetzungskategorien wurden die zugehörigen Quellterme abgeschätzt. Im Wesentlichen berücksichtigt wurden dabei wegen ihrer jeweiligen radiologischen Relevanz für die einzelnen Expositionspfade die Nuklidgruppen Edelgase, Halogene, Alkalimetalle sowie Aktiniden. Weitere Elementgruppen wurden entsprechend ihrer radiologischen Relevanz hinzugezogen.

4.3 BEWERTUNG RADIOLOGISCHER KONSEQUENZEN VON EREIGNISVERLÄUFEN IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB

Die aus den abgeschätzten Quelltermen resultierende Strahlenexposition wurde in Anlehnung an die Modelle und Parameter der Störfallberechnungsgrundlagen berechnet. Zusätzlich wurde für die radiologisch ungünstigsten Fälle die Dosis mit dem Programmsystem ARTM (Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell) ermittelt.

4.4 VERGLEICHENDE ANALYSE ZU RADIOLOGISCHEN KONSEQUENZEN BEI EREIGNISVERLÄUFEN IM LEISTUNGS- UND NICHTLEISTUNGSBETRIEB

Hierfür wurden für Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb die in 4.3 ermittelten radiologischen Konsequenzen zu Grunde gelegt. Für den Leistungsbetrieb wurden die radiologisch dominanten Ereignisse aus vorliegenden probabilistischen Sicherheitsanalysen der Stufe 2 herangezogen.

4.5 EMPFEHLUNGEN ZUR AUFNAHME VON QUELLTERMPROGNOSEN FÜR EREIGNISSE IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB IN DIE RODOS-QUELLTERMDATENBANK

Als Ergebnis der in 4.2 bis 4.4 durchgeführten Analysen und Arbeiten wurde zur Aufnahme in die RODOS-Quelltermdatenbank sowohl für eine DWR-Anlage als auch für eine SWR-Anlage ein Quellterm für Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb vorgeschlagen.

5. ERGEBNISSE

Für die Untersuchung der Unfallablaufszenarien im Nichtleistungsbetrieb wurden für eine SWR-Anlage die beiden Auslösenden Ereignisse „Ausfall des modifizierten Abfahrkühlens“ und „Leck am RDB (Reaktordruckbehälter)-Boden durch fehlerhaftes Ziehen der Kühlmittelumwälzpumpenwelle“ sowie für eine DWR-Anlage die beiden Auslösenden Ereignisse „Ausfall der Nachwärmeabfuhr durch Betriebsversagen“ und „Ausfall der Nachwärmeabfuhr durch Fehlanregung der Notkühlkriterien“ ausgewählt.

Der Ereignisablauf vom Auslösenden Ereignis bis zum Gefährdungszustand (PSA Stufe 1) sowie der weitere Unfallablauf bis zu einer Freisetzung (PSA Stufe 2) wurden jeweils untersucht und die Freisetzungspfade und die frühesten Freisetzungzeitpunkte ermittelt. Anschließend wurden auf Basis von Freisetzungsberechnungen, die bei PSAn der Stufe 2 zum Leistungsbetrieb durchgeführt wurden, Quellterme für die Unfallabläufe im Nichtleistungsbetrieb konservativ abgeschätzt.

Auf der Grundlage dieser Quellterme wurden die radiologischen Auswirkungen auf die Bevölkerung in der Umgebung im Nichtleistungsbetrieb (NLB) ermittelt und mit den radiologischen Auswirkungen im Leistungsbetrieb (LB) verglichen. Die Dosen der Ereignisse im NLB liegen dabei meist im Bereich von ca. 50%-100% der Dosen der entsprechenden Freisetzungsrunden des LB. Abschließend wurde für die SWR- und die DWR-Anlage jeweils ein Quellterm für die Aufnahme in die Quelltermdatenbank von RODOS vorgeschlagen; als Auswahlkriterium wurden hierbei sowohl die Eintrittshäufigkeit des vorausgehenden Kernschadenszustandes als auch die potenziellen radiologischen Auswirkungen der entsprechenden Quellterme berücksichtigt.

Die Strahlenexposition der ausgewählten Quellterme liegt viele Größenordnungen über den Eingreifrichtwerten des Katastrophenschutzes, die Quellterme decken damit Szenarien ab, die Schutzmaßnahmen der Bevölkerung erforderlich machen und die ggf. eine weit höhere Eintrittshäufigkeit aufweisen als die ausgewählten Szenarien.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die vom Auftragnehmer vorgeschlagenen Quellterme für Nichtleistungsbetrieb werden in die RODOS-Quelltermdatenbank aufgenommen.

Es hat sich gezeigt, dass es notwendig ist, weitere vertiefte Untersuchungen auf dem Gebiet der Analysen möglicher radiologischer Konsequenzen bei Ereignissen im Nichtleistungsbetrieb vorzunehmen, um die ermittelten Quellterme zu verifizieren und zu ergänzen.

Thema			
Erstellung eines Handbuches zum behördlichen Krisenmanagement bei einem Ereignis in einer kerntechnischen Anlage - elektronische Datengenerierung und Übertragung im Rahmen der ECURIE- und EMERCON-Meldeverpflichtungen			
Subject			
<i>Development of a manual for the authorities emergency management in the case of an accident at a nuclear installation</i>			
Kennzeichen 3608S06007	Beginn 23.06.2008	Ende 30.04.2010	Fördermittel EUR 128.520,-
Forschungs- / Auftragnehmer Bircomp GmbH, CH 5605 Dottikon (Schweiz)			
Projektleitung R. Bendzko	Fachbetreuung BfS N. Zander / SW 2.2	verantwortlich für den Text N. Zander	

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Projektes war die Entwicklung eines elektronischen Meldeverfahrens auf der Grundlage geltender behördlicher Melderegulungen für einen radiologisch bedeutsamen Ereignisfall in einer kerntechnischen Anlage. Dieses elektronische Meldeverfahren soll den vereinbarten Informationsaustausch zwischen den zuständigen Behörden auf der nationalen Ebene unterstützen und zur effizienteren Erfüllung der internationalen Meldeverpflichtungen der Bundesrepublik Deutschland beitragen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Rahmen des Vorhabens wurde eine Software entwickelt, um die im Ereignisfall von vielen Stellen benötigten Informationen computergestützt zeitnah zu erfassen und weiterzuleiten. Die Weitergabe der für die behördliche Lagebewertung innerhalb des Landes erforderlichen Informationen und der international bereitzustellenden Daten kann hierdurch wesentlich unterstützt werden. Unter Verwendung dieses Verfahrens kann außerdem die Lagebewertung mit Hilfe der in den Lageberichten des Betreibers bereits generierten Dateien mit Quelltermprognosen für das Entscheidungssystem RODOS (Real-time online decision support system) beschleunigt werden.

3. METHODIK

Um das Ziel eines effizienten elektronischen Meldeverfahrens zu erreichen, sind im BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) /BfS (Bundesamt für Strahlenschutz)-Vorhaben folgende Anforderungen vorgesehen: die Generierung elektronischer Meldeinhalte ist im Ereignisfall bereits beim Betreiber zu veranlassen, die Übertragung dieser Meldungen ist über die KFÜ (Kernreaktorfernüberwachungssystem)-Verbindung an die zuständige Landesbehörde zu ermöglichen und geeignete Lösungen für die Übertragung elektronischer Lageberichte der Landesbehörde an BMU sowie zur automatischen Generierung internationaler Meldungen an IAEA (International Atomic Energy Agency)/ EU sind zu erarbeiten, wobei die generierten Daten nach der Prüfung vom BMU unmittelbar weitergeleitet werden können, (Abbildung 1).

4. DURCHFÜHRUNG

Das Projekt wird in den folgenden Arbeitspaketen realisiert:

- Analyse der bestehenden Meldeverfahren;
- Entwicklung standardisierter elektronischer Formulare und Informationsblöcke;
- Realisierung dieser Formulare und Informationsblöcke in einer Softwarelösung;
- Test der Arbeitsergebnisse im Rahmen einer Kommunikationsübung;
- Beschreibung des standardisierten elektronischen Meldeverfahrens in einem Handbuch.

Definierte Schnittstellen ermöglichen elektronische Meldekette

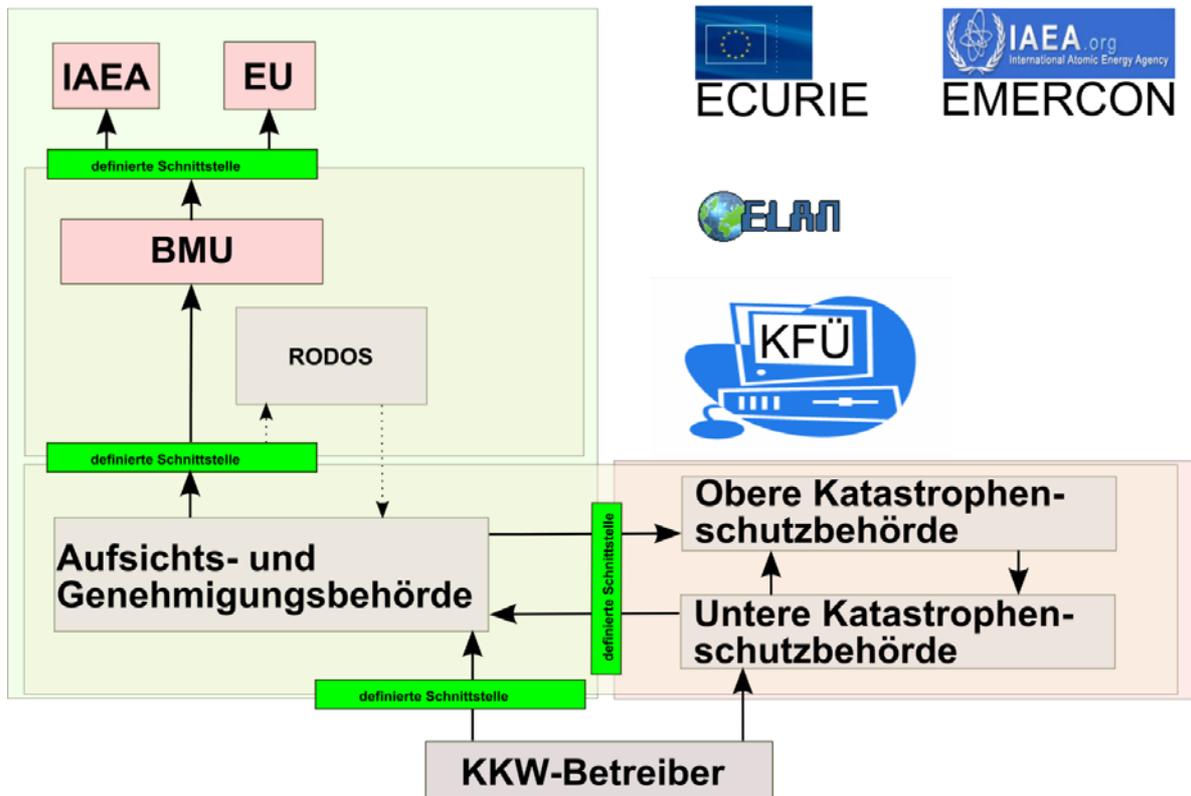


Abbildung 1:
Darstellung des Meldeverlaufs im Ereignisfall

Ausgehend von den Ergebnissen der ersten beiden Arbeitspakete wurde ein computergestütztes Meldeverfahren entwickelt.

Die erforderlichen Schnittstellen für die Datenübermittlung wurden unter Berücksichtigung der Informationssysteme der einzelnen Meldeketten der Informationskette entwickelt.

5. ERGEBNISSE

Die elektronische Erzeugung und Übermittlung von Daten im Falle eines schweren Störfalls in einer kerntechnischen Einrichtung ist möglich und sinnvoll. Die beim Betreiber vorhandenen und in einem Ereignis für die zuständigen Behörden erforderlichen Informationen können umfassend erzeugt und schnell übermittelt werden, z. B. unter Nutzung des KFÜ-Netzwerks.

Andererseits können Informationen zum Status von Katastrophenschutz- und Bevölkerungshilfemaßnahmen durch die Katastrophenschutzbehörde an die für die radiologische Fachberatung zuständige Behörde übermittelt werden. An dieser Stelle werden die Informationen von der zuständigen Landesbehörde an die Bundesbehörden weiter geleitet. Die Einführung des elektronischen Berichtsverfahrens erfordert entsprechende Anpassung des KFÜ-Systems.

Das entwickelte Meldeverfahren wurde im Rahmen von Kommunikationsübungen getestet. Um die Funktionsfähigkeit des entwickelten Meldeverfahrens zu überprüfen, wurden entsprechende Tests unter Beteiligung einer Referenzanlage, der zuständigen Landesbehörde, der BfS-RODOS-Zentrale und des BMU vorbereitet und durchgeführt. Die vom Betreiber an einem PC ausgefüllten Lageberichte zum Anlagenzustand und zur radiologischen Lage wurden über die bestehende KFÜ-Verbindung an die zuständige Landesbehörde versandt. Nach der entsprechenden Prüfung und Ergänzung wurden diese Berichte als Dateien an den BfS-Übergaberechner weiter geleitet. Unter Verwendung von auf der Basis der Betreiberangaben zum Quellterm erzeugten xml-Dateien konnten RODOS-Rechnungen durchgeführt werden. Die automatisch ausgefüllten ECURIE (Europea Community Urgent Radiological Information Exchange)- und EMERCON (Emergency

Convention)-Meldeberichte konnten dem BMU zwecks Prüfung und ggf. erforderlicher Bearbeitung zur Verfügung gestellt werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das vorgeschlagene und erarbeitete xml-basierte Datenaustauschformat für die Meldeinhalte des Betreibers kann als definiertes Schnittstellenformat unabhängig von der verwendeten Software für die Kommunikation zwischen Betreiber und Landesbehörde benutzt werden.

Die Landesbehörden (HMULV¹⁾/Hessen und MJGI²⁾/Schleswig-Holstein) können die vom Betreiber elektronisch übermittelten Inhalte in ihre elektronische Lagebewertung integrieren und verarbeiten. Dabei werden neben den vom Betreiber übermittelten Daten auch die mit dem KFÜ-System automatisch erfassten und übertragenen Anlagendaten sowie die radiologischen Daten zu Emissionen und Immissionen berücksichtigt. Die Zusammenstellung der Grundlagen für die aus der Lagebewertung resultierenden Maßnahmenempfehlungen erfolgt rechnerunterstützt und in elektronischer Form schnell und mit hoher Qualität. Der Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzorganisation gewinnt so Ressourcen, die der Qualität der Lagebewertung und der Ableitung der Empfehlungen für Schutzmaßnahmen zugute kommen.

Die durch den Fachberater Strahlenschutz erarbeitete Lagebewertung ist die Grundlage für die Datenzusammenstellung zur Erfüllung der Informationsanforderungen aus den internationalen Meldeverpflichtungen (ECURIE / EMERCON). Um die automatische Weiterleitung dieser Datenzusammenstellungen zu ermöglichen, wurde ein xml-basiertes Schnittstellenformat vorgeschlagen. Durch geeignete Transformationen wurde es möglich, die Inhalte der Datenzusammenstellung zu verwenden, um den unterschiedlichen Informationsanforderungen aus ECURIE und EMERCON zu entsprechen und Quelltermprognosen für RODOS zu generieren.

Bei der Generierung elektronischer Lageberichte werden Dateien erzeugt, die mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS kompatibel sind. Dies ermöglicht einen schnellen Einsatz des RODOS-Systems - bis hin zum automatischen Systemstart -, um die Lagedarstellung in der Vorfreisetzungsphase zeitnah und ohne zusätzliche Übertragungsfehler zu erzeugen.

Die im Rahmen des Vorhabens erstellte Software NotDat führt die erforderlichen Transformationen durch und leitet die verschiedenen definierten Informationszusammenstellungen an die zuständigen Stellen weiter. Dazu wurde NotDat im Rechnernetzwerk des BfS installiert und zur Nutzung eingerichtet.

In einem Nachfolgevorhaben soll eine weitere Landesbehörde mit den von ihr beaufsichtigten Anlagen in die elektronische Datengenerierung und -übertragung eingebunden werden.

¹⁾ Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

²⁾ Ministerium für Justiz, Gleichstellung und Integration

Thema Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS für Ereignisse im Leistungsbetrieb			
Subject <i>Update of the source term library of the decision support system RODOS for events in normal operation mode</i>			
Kennzeichen 3609S60009	Beginn 01.06.2009	Ende 31.12.2010	Fördermittel EUR 129.279,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln			
Projektleitung H. Löffler	Fachbetreuung BfS N. Zander / SW 2.2	verantwortlich für den Text H. Löffler, N. Zander	

1. ZIELSETZUNG

Die bisher in der RODOS-Quelltermbibliothek hinterlegten Eingabedaten bezüglich der anzunehmenden Freisetzungskategorien bei Unfällen mit Kernschäden beziehen sich auf Leistungsbetriebszustände der Kernkraftwerke, die als Ergebnisse der Deutschen Risikostudie (Phasen A/B) etwa aus dem Jahr 1990 vorliegen. Inzwischen wurden für einige deutsche KKW anlagenspezifische probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA) der Stufe 2 nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik erstellt. Zu Beginn des Vorhabens waren die der Katastrophenschutzplanung zu Grunde liegenden Quellterme nicht an die neueren PSA-Ergebnisse angepasst. Ebenfalls waren neuere anlageninterne Notfallmaßnahmen nicht berücksichtigt.

Daraus ergab sich die Aufgabe, Quellterme für die Notfallschutzplanung nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu ermitteln und für die RODOS-Quelltermbibliothek bereitzustellen. Anhand dieser Quellterme war dann zu prüfen, ob die Schutzmaßnahmen des Notfallschutzkonzeptes geeignet sind, die radiologischen Auswirkungen der Quellterme hinreichend zu begrenzen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ZUSAMMENSTELLUNG VON RELEVANTEN QUELLTERMEN AUS NEUEREN UNFALLANALYSEN

Berücksichtigung der aktuellen Ergebnisse probabilistischer Untersuchungen für unfallbedingte Quellterme für deutsche KKW (DWR und SWR) im Leistungsbetrieb.

Auswahl der Quellterme aus PSA-Ergebnissen im Hinblick auf ihre Relevanz für das Notfallschutzkonzept gemäß ihrer relativen Häufigkeit und ihrer Auswirkung auf die Umgebung.

2.2 ERMITTLUNG RADIOLOGISCHER AUSWIRKUNGEN DER AKTUALISIERTEN QUELLTERME

Die radiologischen Auswirkungen der ausgewählten aktualisierten Quellterme werden mit Hilfe des Programmsystems RODOS ermittelt. Auf dieser Grundlage wurde die Relevanz der ausgewählten Quellterme für die Strahlenexposition der Bevölkerung bewertet. Ferner werden die potenziellen radiologischen Auswirkungen mit dem bestehenden Planungskonzept im Rahmen des externen Notfallschutzes verglichen. Als Bewertungsmaßstab dient dabei das Erfordernis von zentralen Maßnahmen des Katastrophenschutzes und der Strahlenschutzvorsorge.

2.3 EMPFEHLUNGEN UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Empfehlungen für die Aktualisierung der RODOS-Quelltermbibliothek:

- Ergebnisse zu Quelltermen aus PSA, radiologische Auswirkungen dieser Quellterme und das Notfallschutz-Planungskonzept werden zusammen ausgewertet. Daraus werden Empfehlungen für eine Aktualisierung der Quelltermbibliothek abgeleitet.

Schlussfolgerungen zum Notfallschutzkonzept:

- Es werden Schlussfolgerungen für die Effizienz des bestehenden Notfallschutzkonzeptes in Bezug auf Ereignisabläufe mit erheblichen Freisetzungen gezogen.

Bei der Erarbeitung der Empfehlungen und Schlussfolgerungen werden die verfügbaren Informationen zur internationalen Praxis auf diesem Gebiet einbezogen.

3. METHODIK

3.1 ZUSAMMENSTELLUNG VON RELEVANTEN QUELLTERMEN AUS NEUEREN UNFALLANALYSEN

Aus zwei von der GRS durchgeführten PSA der Stufe 2 für jeweils einen DWR und einen SWR wurden die Quellterme abgeleitet. Meist war es möglich, sie direkt der PSA zu entnehmen, teilweise waren jedoch ergänzende Abschätzungen erforderlich. Die Quellterme wurden nach ihrer relativen Häufigkeit sortiert, sowie nach ihrer Größe und Art der Radionuklidfreisetzung (früh / spät, bodennah / über Kamin) zusammengefasst. Daraus ergab sich ein charakteristisches Spektrum, das für die Notfallschutzplanung geeignet ist.

3.2 ERMITTLUNG RADIOLOGISCHER AUSWIRKUNGEN DER AKTUALISIERTEN QUELLTERME

Die Abschätzung der radiologischen Auswirkungen erfolgt in zwei Stufen. In der ersten Stufe wird im Rahmen einer Grobanalyse das Spektrum der radiologischen Auswirkungen bei vereinfachten und tendenziell pessimistischen Annahmen entsprechend der Methodik des „Leitfadens für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen“ abgeschätzt.

In der zweiten Stufe wird eine Detailanalyse der radiologischen Auswirkungen für generische Wetterrandbedingungen durchgeführt. Hierfür werden Ergebnisse von Rechnungen mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS herangezogen.

3.3 EMPFEHLUNGEN UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Anhand der Arbeiten zu 3.1 und 3.2 wurden ca. 10 neue Quellterme zur Aufnahme in die Quelltermbibliothek vorgeschlagen. Diese wurden mit den bisher dort hinterlegten Quelltermen verglichen. Sofern die neuen Quellterme frühere Unfallabläufe abdecken, wird empfohlen, die alten Quellterme durch die neuen zu ersetzen. Wenn jedoch alte Quellterme vorhanden sind, für die es keinen entsprechenden neuen Ereignisablauf gibt, sollte der alte beibehalten werden.

Es wird verglichen, ob die Auswirkungen der neuen Quellterme durch das Notfallschutzkonzept abgedeckt sind.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ZUSAMMENSTELLUNG VON RELEVANTEN QUELLTERMEN AUS NEUEREN UNFALLANALYSEN

Die gezielte Auswertung der zwei von der GRS durchgeführten PSA der Stufe 2 für jeweils einen DWR und einen SWR erforderte lediglich eine intensive Aufarbeitung der verfügbaren Unterlagen.

Der Vergleich mit den bisher in RODOS hinterlegten Quelltermen geschah anhand der zugehörigen charakteristischen Unfallabläufe.

4.2 ERMITTLUNG RADIOLOGISCHER AUSWIRKUNGEN DER AKTUALISIERTEN QUELLTERME

Die Grobanalyse folgte der Methodik des „Leitfadens für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen“ und war mit einfachsten Mitteln möglich.

Die Detailanalyse der potenziellen radiologischen Konsequenzen und der ggf. zu treffenden Gegenmaßnahmen für die zu betrachtenden Freisetzungskategorien stützt sich auf die Ergebnisse der Berechnungen mit dem System RODOS, die zu diesen Szenarios durch die GRS mit der fachlichen Betreuung und EDV-technischen Unterstützung des BfS durchgeführt wurden.

4.3 EMPFEHLUNGEN UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Empfehlungen und Schlussfolgerungen wurden von den beteiligten Mitarbeitern anhand der erzielten Ergebnisse und anhand der internationalen Praxis erarbeitet. Ferner sind Ereignisabläufe benannt worden, für die bisher keine ausreichenden Analysen vorliegen, so dass auch keine Quellterme verfügbar sind.

5. ERGEBNISSE

5.1 ZUSAMMENSTELLUNG VON RELEVANTEN QUELLTERMEN AUS NEUEREN UNFALLANALYSEN

Insgesamt wird empfohlen, neun bisherige DWR-Quellterme zu streichen, drei bisherige beizubehalten und fünf Quellterme neu aufzunehmen.

Für SWR, bei denen es bisher noch keine Einträge in der Quelltermbibliothek gab, sind vier Quellterme neu vorgeschlagen worden.

Für alle neuen Fälle besteht ein detaillierter Datensatz mit dem Freisetzungsvorlauf für 25 Radionuklide.

5.2 ERMITTLUNG RADIOLOGISCHER AUSWIRKUNGEN DER AKTUALISIERTEN QUELLTERME

Die potenziellen radiologischen Auswirkungen, die sich auf Grund der Detailanalyse ergeben, sind für die betrachteten neuen Szenarien zusammengefasst worden. Aufgeführt sind die Maximalentfernungen in Kilometern, für die der Eingreifrichtwert der Katastrophenschutzmaßnahmen „Aufenthalt in Gebäuden“, „Evakuierung“, „Jodblockade Kinder“, „Jodblockade Erwachsene“, „temporäre Umsiedlung“ und „permanente Umsiedlung“ überschritten ist. Darüber hinaus sind die erwarteten Flächen in Quadratkilometern, die von den einzelnen Katastrophenschutzmaßnahmen betroffen wären, zusammengefasst worden.

5.3 EMPFEHLUNGEN UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es wird empfohlen, die hier neu definierten Quellterme in die RODOS-Bibliothek aufzunehmen, sowie einige veraltete zu entfernen.

Es zeigt sich, dass neben Quelltermen, auf die im Rahmen der geltenden Eingreifrichtwerte mit dem bestehenden Notfallschutzkonzept ohne die Notwendigkeit darüber hinausgehender Maßnahmen reagiert werden kann, auch Ereignisabläufe denkbar sind, bei denen zusätzliches Handeln bzw. eine Ausweitung von Notfallschutzmaßnahmen auf ein größeres Gebiet nötig werden könnte.

Die hier benutzten PSA der Stufe 2 für die Referenzanlagen gehören zu den ersten ihrer Art in Deutschland. Inzwischen führen die Betreiber für alle Anlagen PSA der Stufe 2 für den Leistungsbetrieb im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfungen durch. Es ist zu empfehlen, die dabei unmittelbar für die jeweilige Anlage ermittelten Quellterme zu erlangen und in die RODOS-Quelltermbibliothek einzufügen.

PSA der Stufe 1 für den Nichtleistungsbetrieb ergeben in der Regel Häufigkeiten für Kernschadenzustände, die mit denen des Leistungsbetriebes vergleichbar sind. Eine Ergänzung dieser Analysen in die Stufe 2 hinein und eine Ermittlung der entsprechenden Quellterme sind deshalb dringend zu empfehlen.

In einem Kernkraftwerk befinden sich außerhalb des Sicherheitsbehälters weitere erhebliche Radionuklidinventare, z. B. Filtrerrückstände. Bisher sind keine Analysen bekannt, ob und in welchem Umfang sowie mit welcher Häufigkeit Quellterme aus diesen Inventaren zu unterstellen sind. Eine Abschätzung möglicher Freisetzungsmechanismen und der damit verbundenen entsprechenden Quellterme ist zu empfehlen.

Die hier vorgeschlagenen Quellterme beruhen auf Ereignisabläufen infolge anlageninterner auslösender Ereignisse. Analysen zu Quelltermen für anlagenexterne auslösende Ereignisse liegen bisher für deutsche Anlagen nicht vor und sollten ergänzt werden.

Ergänzungen in RODOS zur Verlängerung des Prognosezeitraums und zur Berücksichtigung von mehr als einem Ort mit gleichzeitiger Radionuklidfreisetzung sind zu empfehlen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Vorhabens zeigen, dass eine dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechende Quelltermprognose sowohl für eine DWR-, als auch für eine SWR-Anlage möglich und sinnvoll ist. Die Voraussetzung dafür stellt eine anlagenspezifische PSA der Stufe 2 dar. Die im Rahmen des Vorhabens weiter ent-

wickelten und erfolgreich getesteten Quelltermabschätzungsmodule QPRO und ASTRID können als Eingabedatenlieferanten für das Entscheidungshilfesystem RODOS verwendet werden. Sie ermöglichen eine zeitnahe und zuverlässigere Lagebewertung durch die zuständigen Behörden bei einem schweren Störfall in einem Kernkraftwerk. Dies erhöht die Effizienz von ggf. erforderlichen Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung in der Umgebung von kerntechnischen Anlagen. Die anlagespezifische Anwendung kann beim Vorliegen entsprechender probabilistischer Sicherheitsanalysen durch die zuständigen Landesbehörden veranlasst werden.

Themenbereich 07

Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Subject area 07

Projects of general importance to radiation protection

Thema			
Untersuchung umweltbedingter genetischer Veränderungen im Zusammenhang mit der Entstehung von Leukämien im Kindesalter			
Subject			
<i>Analysis of environmentally caused genetic aberrations associated with the development of childhood leukaemia</i>			
Kennzeichen 3609S30013	Beginn 01.08.2009	Ende 30.04.2010	Fördermittel EUR 107.483,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Institut für Klinische Molekularbiologie und Klinik für Allgemeine Pädiatrie, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Kiel			
Projektleitung Prof. Dr. M. Schrappe	Fachbetreuung BfS Dr. A. Dehos / AG-SG 1.4		verantwortlich für den Text Prof. Dr. M. Stanulla

1. ZIELSETZUNG

Die vom BfS geförderte KiKK¹⁾-Studie ergab einen Zusammenhang zwischen dem Risiko für kindliche Leukämie und der Nähe des Wohnortes zu einem Kernkraftwerk. Daneben gibt es mehrere Hinweise aus epidemiologischen Studien, dass sich das Risiko für kindliche Leukämie erhöht bei einer Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern in einem Intensitätsbereich deutlich unterhalb der Grenzwerte. In beiden Fällen lässt sich das erhöhte Risiko mit dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand über Strahlenwirkungen nicht erklären. Daher muss verstärkt nach den Ursachen für die Entstehung der kindlichen Leukämie gesucht werden, um so den möglichen Einfluss von Umweltnoxen im Zusammenhang mit Gen-Umwelt-Interaktionen abklären zu können. Nach dem derzeitigen Stand der wissenschaftlichen Diskussion geht man davon aus, dass ein Zusammenwirken von genetischer Prädisposition und weiteren endogenen Faktoren sowie äußeren Einflüssen, wie z. B. möglicherweise Strahlenexposition, zur Entstehung der Krankheit führt.

Ein wesentlicher Schritt im Rahmen der Erforschung des Zusammenhangs zwischen Umweltnoxen und der Entstehung kindlicher Leukämie ist die Untersuchung der genetischen Veränderungen, die an der Entstehung der Leukämie im Kindesalter beteiligt sind. Ziel des Vorhabens war die Analyse von Genpolymorphismen, speziell Einzelnukleotid-Polymorphismen (SNP, Single Nucleotide Polymorphism, Varianten von einzelnen Basenpaaren der DNA (Desoxyribonukleinsäure)) an einer Untergruppe von Patienten mit Leukämie im Kindesalter, die einen mit etwa 20 bis 25% sehr häufigen Subtyp der akuten lymphatischen Leukämie (ALL), die so genannte ETV6-RUNX1-positive ALL (früher TEL-AML1-positive ALL) aufweisen. Durch Vergleich mit ETV6-RUNX1-negativen Patienten sollte geklärt werden, welche der analysierten Varianten spezifisch sind für den ETV6-RUNX1-positiven Subtyp und welche ggf. die Erkrankung insgesamt kennzeichnen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Folgende Ziele wurden in dem Projekt verfolgt:

2.1 AUFSTOCKUNG DES PATIENTENKOLLEKTIVS DURCH PATIENTEN AUS NATIONALEN UND INTERNATIONALEN STUDIENGRUPPEN

Ein Patientenkollektiv von 419 Patienten mit einer ETV6-RUNX1-positiven ALL - gekennzeichnet durch die chromosomale Translokation t(12;21)(p13;q22), die zu einer ETV6-RUNX1-Genfusion führt - und 474 gesunden Kontrollen, welches bereits in einer genomweiten Assoziationsstudie (GWAS) für 355 750 SNPs analysiert wurde, sollte durch Rekrutierung weiterer Patienten auf nationaler und internationaler Ebene und eine entsprechende Anzahl von Kontrollpersonen aufgestockt werden. Ziel war es, die bisher gefundenen Ergebnisse anhand zusätzlicher Patienten zu untermauern.

¹⁾ Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken

2.2 UNTERSUCHUNG VON ETV6-RUNX1-NEGATIVEN LEUKÄMIEN

Die Untersuchungen sollten auf ETV6-RUNX1-negative Leukämien des Kindes- und Jugendalters ausgedehnt werden, um zu klären, welche der gefundenen SNPs für den ETV6-RUNX1-positiven Subtyp spezifisch sind, bzw. welche SNPs gegebenenfalls auch bei anderen Subtypen der ALL vorkommen.

2.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse sollten im Hinblick auf den derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand zur Entstehung der kindlichen Leukämie und zum Zusammenwirken genetischer, epigenetischer und anderer endogener Faktoren mit Umwelteinflüssen, insbesondere ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung, bei der Entstehung der Erkrankung diskutiert werden.

3. METHODIK

Das bislang untersuchte ETV6-RUNX1-positive Patientenkollektiv wurde mittels unabhängiger DNA-Patientenproben aus nationalen und internationalen Studiengruppen und entsprechend gepaarter Kontrollindividuen (im Verhältnis 1:2) aufgestockt.

In allen Proben wurde zunächst die DNA eingestellt, das Gesamtgenom amplifiziert und eine DNA-Qualitätskontrolle inklusive einer Gelelektrophorese durchgeführt. Anschließend wurden die 100 am stärksten mit dem ETV6-RUNX1-Subtyp assoziierten SNPs, die in den bisherigen Analysen identifiziert worden waren, mittels SNPlex-Technologie in den Replikationsproben genotypisiert. Von den 100 ausgewählten SNPs überstanden 87 SNPs die Qualitätskontrollen in den Replikationspanels. Diese SNPs hatten eine hohe Call-Rate (Rate der erfolgreichen Genotypisierungen; >90% in Fällen und Kontrollen), waren weder monomorph noch selten (Frequenz des selteneren Allels >1% in Fällen und Kontrollen) und wichen nicht vom Hardy-Weinberg-Gleichgewicht (HWE) in der Kontrollgruppe ab ($P_{HWE} > 0,001$).

4. DURCHFÜHRUNG

Die initial zur Aufstockung des Patientenkollektivs verwendeten Proben stammten von weiteren deutschen und österreichischen ETV6-RUNX1-positiven ALL-Patienten der ALL-BFM¹⁾-Studiengruppe sowie der deutschen COALL²⁾-Studiengruppe vom Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf (n=406; Panel B, siehe auch Tabelle 1). Weiterhin wurden zusätzliche Proben von der italienischen AIEOP³⁾-Studiengruppe zur Behandlung von Leukämien im Kindes- und Jugendalter vom Ospedale San Gerardo, Monza, zur Verfügung gestellt (n=287; Panel C). Die Proben der ETV6-RUNX1-negativen ALL-Gruppe entstammten wiederum der ALL-BFM-Studiengruppe in Kiel (n=326; Panel D). Die 2261 deutschen gesunden Kontrollpersonen der Panels B und D wurden über die Popgen-Biobank am IKMB (Institut für Klinische Molekularbiologie) im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel, erhalten (Tabelle 1). Die 1.682 Kontrollindividuen für Panel D entsprachen hierbei den Kontrollpersonen aus Panel B. Die gesunden italienischen 579 Kontrollindividuen wurden durch die Blutbank des Krankenhauses San Gerardo in Monza, Italien, rekrutiert. Alle Patientenproben und die entsprechende Kontrollproben wurden wie unter 3.1. aufgeführt analysiert.

Tabelle 1:
Übersicht zu den in der Studie verwendeten Panels

Panels	Kontrollen	Fälle
A – ALL GWAS (genome-wide association study) Panel (Deutschland)	474	419
B – ALL Replikationspanel (Deutschland/Österreich)	1.682	406
C – ALL Replikationspanel (Italien)	579	287
D – ALL Replikationspanel (Deutschland)	1.682	326

¹⁾ Berlin-Frankfurt-Münster-Studiengruppe

²⁾ Kooperative ALL-Studiengruppe

³⁾ Associazione Italiana Ematologia Oncologia Pediatrica

5. ERGEBNISSE

Insgesamt wurden im Rahmen der Replikationsanalysen Proben von weiteren 693 Patienten mit ETV6-RUNX1-positiver ALL, 326 Patienten mit ETV6-RUNX1-negativer ALL, sowie 2.261 Kontrollproben bezüglich der 100 am stärksten assoziierten SNPs untersucht. Nach Qualitätskontrolle wurden 13 Follow-up-SNPs wegen einer SNP Call-Rate in Fällen und Kontrollen von 95% oder weniger, einer Häufigkeit des seltenen Allels von weniger als 1% in Fällen und Kontrollen oder einer Abweichung vom Hardy-Weinberg Gleichgewicht in den Kontrollen ($P > 0,001$) ausgeschlossen. Somit konnten im Rahmen der Replikationsanalysen 87 SNPs erfolgreich im Kontext des Erkrankungsrisikos betrachtet werden.

Ausgehend von einer Häufigkeit eines erkrankungsassoziierten Allels von mindestens 30% in der Kontrollgruppe, hatte das initiale GWAS-Screening-Panel A eine statistische Power von 80%, eine Variante mit einer relativen Quote von 1,48 oder höher auf einem Signifikanzniveau von 5% zu erkennen (Abbildung 1).

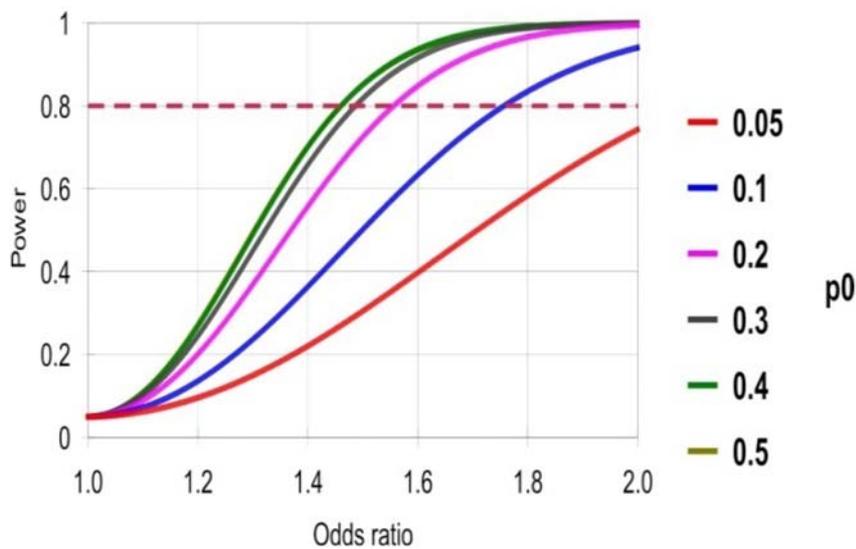


Abbildung 1: Statistische Power im Screening Panel A (474 Kontrollen, 419 Fälle) eine gegebene allelische Erkrankungsassoziation für Träger des selteneren Allels zu detektieren. Die Berechnungen wurden mittels der Programme PS Power und Sample Size v3.012 durchgeführt und schlossen Annahmen für unterschiedliche Allelfrequenzen ein (bezeichnet als p_0). Die statistische Power findet sich in Abhängigkeit von der Odds Ratio (relative Quote) dargestellt und die gestrichelte rote Linie zeigt den Schwellenwert für eine statistische Power von 80% an

Unter Berücksichtigung des unterschiedlichen geographischen Ursprungs der Replikationspanels wurden in kombinierten Analysen der Replikationspanels B und C sowie in der ETV6-RUNX1-positiven Gesamtpopulation (Panels A bis C) der Cochran-Mantel-Haenszel-Test (P_{CMH}) und der Breslow-Day-Test auf Heterogenität der relativen Quote (P_{BD}) angewendet. Neue signifikante Erkrankungsassoziationen, die einer Bonferroni-Korrektur widerstanden (adjustiertes Signifikanzniveau $\alpha = 5,75 \times 10^{-4}$), wurden für drei SNPs detektiert. Obgleich die Assoziationen dieser Loci mit ETV6-RUNX1-positiver ALL nicht genomweite Signifikanz im initialen Screen zeigten (konventionelles Level $P \leq 5,0 \times 10^{-7}$), wurde für zwei SNPs in den anschließenden Analysen unter Berücksichtigung der Panels A bis C mit 1112 ETV6-RUNX1-positiven Fällen und 2735 gesunde Kontrollen genomweite Signifikanz erzielt (SNP 1: $P_{CMH} = 1,18 \times 10^{-7}$; SNP 2: rs7156960 ($P_{CMH} = 1,10 \times 10^{-7}$). SNP 3 ergab ein P_{CMH} von $7,27 \times 10^{-7}$.

Da das initiale Screening (Panel A) nur unter Verwendung deutscher Proben durchgeführt wurde, sind zusätzlich zu den oben genannten Untersuchungen Analysen der nachverfolgten SNPs exklusiv für das deutsch/österreichische Replikationspanel B durchgeführt worden, um potenzielle Orte im Erbgut zu identifizieren, die - im Vergleich zu einem eher allgemeinen Risiko in der gesamteuropäischen Population - spezifisch mit dem ALL-Risiko in Nordeuropäern verbunden waren. Bei diesen Analysen konnten neben den drei oben genannten neuen gemeinsamen Suszeptibilitätsloci drei weitere mit ETV6-RUNX1-positiver ALL assoziierte SNPs identifiziert werden, die einer Korrektur für multiples Testen standhielten (SNP 4: $P = 1,61 \times 10^{-6}$; SNP 5:

$P = 1,86 \times 10^{-4}$; SNP 6: $P = 5,20 \times 10^{-4}$). Die sechs gerade genannten SNPs zeigten auch genomweite signifikante Assoziationen in der kombinierten Analyse der deutsch/österreichischen Gruppen A und B. Weiterhin zeigten zwei weitere SNPs genomweite Signifikanz in der kombinierten Analyse der Gruppenpanels A und B (SNP 7: $P = 1,45 \times 10^{-7}$; SNP 8: $P = 1,71 \times 10^{-7}$). Diese Ergebnisse hielten aber in einer alleinigen Analyse des Replikationspanels B einer statistischen Korrektur für multiples Testen nicht stand.

Um zu beurteilen, ob die hier erhobenen Befunde speziell dem ETV6-RUNX1-positiven ALL-Subtyp zugeordnet werden können oder auch für andere Subgruppen relevant sind, wurden folgend die 20 am stärksten assoziierten SNPs aus der bisherigen Analyse des ETV6-RUNX1-positiven Subtyps in einer weiteren deutschen Replikationskohorte (Panel D; Tabelle 1) typisiert. Diese Gruppe setzte sich aus 326 ETV6-RUNX1-negativen ALL des Kindesalters zusammen und wurde mit den 1.682 Kontrollen des Panels B analysiert. Von 19 erfolgreich die Qualitätskontrollen passierenden SNPs wurde jedoch nur einer als signifikant mit dem ALL-Risiko assoziiert gefunden ($P = 2,55 \times 10^{-3}$). Die kombinierte Analyse der Replikationspanels B bis D für diesen SNP ergab ein P_{CMH} von $3,71 \times 10^{-5}$. Diese Ergebnisse implizieren, dass der betreffende SNP ein allgemeiner ALL-Suszeptibilitätslocus sein könnte.

In weiteren Analysen wurden die von Papaemmanuil et al. und Treviño et al. in zwei im Jahr 2009 in der Zeitschrift Nature Genetics publizierten nicht subgruppenspezifischen GWAS zur ALL im Kindesalter identifizierten SNPs in der Stichprobe der Panels A bis D typisiert, sowohl um die zuvor berichteten Genorte zu bestätigen als auch eine Positivkontrolle für die durchgeführten Analysen vorzunehmen. Die Stichprobe bestand aus Fällen des Panels A und den kompletten Panels B bis D. In diesen Analysen wurden in der kombinierten Stichprobe, die insgesamt 1.438 Fälle und 2.261 Kontrollen umfasste, genomweite signifikante Assoziationen ($P < 5 \times 10^{-7}$) für vier bereits publizierte Genorte gefunden. Die Assoziation für einen weiteren Genort war nicht genomweit signifikant, widerstand aber der Bonferroni-Korrektur für multiples Testen ($P = 1,79 \times 10^{-3}$). Suggestive Hinweise auf eine Assoziation mit dem Risiko für eine ALL in der analysierten Gruppe ($P < 0,05$) wurden für weitere drei Genorte gefunden.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse erstmalig, dass Keimbahnvariation spezifische Risiken für Subgruppen der ALL im Kindesalter vermitteln kann - in unserem Fall für die ETV6-RUNX1-positive ALL. Unsere Ergebnisse legen somit nahe, dass genetische Variation als Risikomodulator einerseits übergreifend für die Gesamtheit der ALL im Kindesalter, andererseits aber auch spezifisch beschränkt auf bestimmte Subtypen von Bedeutung ist.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das Forschungsvorhaben hat zur Klärung der Frage, welche genetischen Veränderungen im Zusammenhang mit der akuten lymphatischen Leukämie (ALL) im Kindesalter auftreten können, einen wichtigen Beitrag geliefert. Bedeutsam ist dabei die Erkenntnis, dass es sowohl genetische Veränderungen gibt, die allgemein bei der Erkrankung ALL auftreten als auch solche, die spezifisch sind für eine Untergruppe der Erkrankung. Außerdem wurden Hinweise darauf gefunden, wie diese genetischen Veränderungen sich im Stoffwechsel von Zellen auswirken könnten, so dass eine Entartung der Zellen begünstigt wird. In der wissenschaftlichen Diskussion wird davon ausgegangen, dass das Zusammenwirken von genetischer Prädisposition sowie weiteren endogenen Faktoren mit Umwelteinflüssen ursächlich ist für die Entstehung von Leukämie im Kindesalter. Die Suche nach genetischen Veränderungen und ihrer Auswirkungen im Stoffwechsel von Zellen des blutbildenden Systems steht daher am Anfang von Untersuchungen zur Aufklärung der Ursachen für Leukämie im Kindesalter. Sie ist Gegenstand des umfassenden interdisziplinären Forschungsprogramms zu dieser Thematik, das vom BfS vorgeschlagen wird. Nachfolgend wird untersucht, ob eine Exposition mit ionisierender oder nicht-ionisierender Strahlung diese Veränderungen verursachen kann oder im Zusammenwirken mit derartigen genetischen Veränderungen das Erkrankungsrisiko erhöht. Die Ergebnisse des Vorhabens finden somit direkt Eingang in die weiteren Aktivitäten von BMU und BfS zur Erforschung der Ursachen von Leukämieerkrankungen im Kindesalter.

Thema Gesundheitsökonomische Betrachtung zu Radonsanierungsmaßnahmen			
Subject <i>Health economic evaluation of radon mitigation strategies</i>			
Kennzeichen 3609S10007	Beginn 20.07.2009	Ende 31.08.2010	Fördermittel EUR 103.519,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München			
Projektleitung Prof. Dr. R. Leidl	Fachbetreuung BfS C. Egblomassé-Roidl / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text Dr. F. Haucke	

1. ZIELSETZUNG

Radon ist ein natürlich vorkommendes radioaktives Edelgas, das sich in Innenräumen akkumulieren und zu einer Erhöhung des Lungenkrebsrisikos führen kann. Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, anhand einer entscheidungstheoretischen Modellierung erstmals für Deutschland die Effekte verschiedener Strategien zur Minderung der Radonbelastung in bestehenden Wohnhäusern sowie Neubauten zu analysieren und eine regional differenzierte Kosteneffektivitätsanalyse (KEA) der Radonintervention durchzuführen. Dabei wird untersucht, welche Auswirkungen von verbindlichen Grenzwerten sowie Richtlinien und Empfehlungen ausgehen, die bereits mehrfach diskutiert, bislang jedoch nicht umgesetzt wurden. Als Ergebnis der Untersuchung sollen unter Berücksichtigung der besten verfügbaren Daten sowie aller identifizierten Unsicherheitsbereiche konkrete Empfehlungen für regulative Eingriffe zur Senkung der Radonexposition in der deutschen Bevölkerung auf Basis einer ökonomischen Entscheidungsgrundlage gegeben werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

In dem Vorhaben wurden im Einzelnen die folgenden Aufgaben bearbeitet, wobei 2.1 - 2.4 als Inputparameter in die unter 2.5 beschriebene Kosteneffektivitätsanalyse eingehen:

2.1 ERMITTLUNG DES IST-ZUSTANDS DER RADONBELASTUNG IN DEUTSCHLAND

Beinhaltet vor allem die Identifikation der regionalen Verteilung der Radonexposition in Deutschland, die Bestimmung von Hochrisikogebieten sowie darauf aufbauend die Bestimmung des Screening- und Interventionsbedarfs.

2.2 BESTANDSAUFNAHME DER KOSTEN BEI RADONSANIERUNG BZW. RADONREDUZIERUNG

Kosten des Radonscreenings setzen sich aus dem in 2.1. ermittelten Messbedarf für die Identifikation belasteter Gebäude über einem definierten Eingriffsniveau sowie dem Aufwand für Sanierung, bzw. radonsicheren Neubau zusammen.

2.3 BESTANDSAUFNAHME GESUNDHEITS- BZW. KRANKHEITSKOSTEN BEI LUNGENKREBS

Auf Grund einer reduzierten Lungenkrebsinzidenz durch Interventionsmaßnahmen ist auch ein Rückgang der direkten Krankheitskosten zu erwarten. Dies umfasst den unmittelbaren Ressourcenverbrauch, also ambulante und stationäre ärztliche Leistungen, Medikamente sowie Heil- und Hilfsmittel.

2.4 BESTANDSAUFNAHME SONSTIGER ZU BERÜCKSICHTIGENDER KOSTEN

Die indirekten Kosten ergeben sich aus dem durch Arbeits- und Erwerbsunfähigkeit sowie vorzeitigem Tod resultierendem Wertschöpfungsverlust.

2.5 DURCHFÜHRUNG EINER KOSTEN-EFFEKTIVITÄTSANALYSE VON RADONINTERVENTIONSMAßNAHMEN

Im Rahmen der Kosten-Effektivitäts-Analyse (KEA) werden anhand verschiedener Szenarien spezifische Strategien der Radonintervention in Kombination mit unterschiedlichen Eingriffsniveaus (EN) untersucht.

3. METHODIK

Die Kosten-Effektivitäts-Analyse wird auf Basis einer entscheidungstheoretischen Modellierung durchgeführt, wobei Eingriffsniveaus von 100, 200 und 400 Bq/m³ Innenraumluft sowie verschiedene regulatorische Regimes bezüglich der Umsetzung von Richtlinien untersucht werden. Die Analyse wird in Einklang mit anerkannten Guidelines durchgeführt, etwa den Empfehlungen des Instituts für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen (IQWiG). Der Aufbau des Modells orientiert sich an existierenden internationalen Modellierungen von Radoninterventionen unter Berücksichtigung der offiziellen Empfehlungen zu Screening/Sanierung des Bundesamts für Strahlenschutz (vgl. Abbildung 1 für eine grafische Darstellung des Basismodells). Für die KEA des radonsicheren Neubaus wird das Basismodell adjustiert und um weitere Aspekte erweitert (ohne Abbildung).

Die Programmierung erfolgt in einer Spreadsheet-Anwendung. Die unter 2.1 - 2.4 beschriebenen Elemente gehen als Inputparameter in das Modell ein. Dabei werden sämtliche Kostenkomponenten aus gesamtgesellschaftlicher Perspektive berechnet. Alle Modellberechnungen werden auf vier regionalen Ebenen durchgeführt: für Gesamtdeutschland, auf Bundesland- und Landkreisebene sowie für unterschiedlich definierte Hochrisikogebiete. Zur Validierung der Ergebnisse werden uni- und multivariate deterministische und probabilistische Sensitivitätsanalysen (SA) durchgeführt. Letztere beruhen auf Monte-Carlo-Simulationen mit jeweils 5.000 Wiederholungen, wobei für jeden mit Unsicherheit behafteten Parameter statistische Verteilungen zu spezifizieren sind. 95%-Konfidenzintervalle (KI) werden dann über die Werte der 2,5- und 97,5-Perzentile der Ergebnisverteilung geschätzt. Als weiteres Element der Analyse werden verschiedene Instrumente aus dem Bereich der gesundheitsökonomischen Evaluation (Cost effectiveness acceptability curve, cost effectiveness acceptability frontier) auf die konkrete Fragestellung übertragen und eine neue Darstellung probabilistischer Analysen für kleinräumige Auswertungen entwickelt, um für ein breites Spektrum hypothetischer Zahlungsbereitschaften optimale Strategien ableiten zu können.

4. DURCHFÜHRUNG

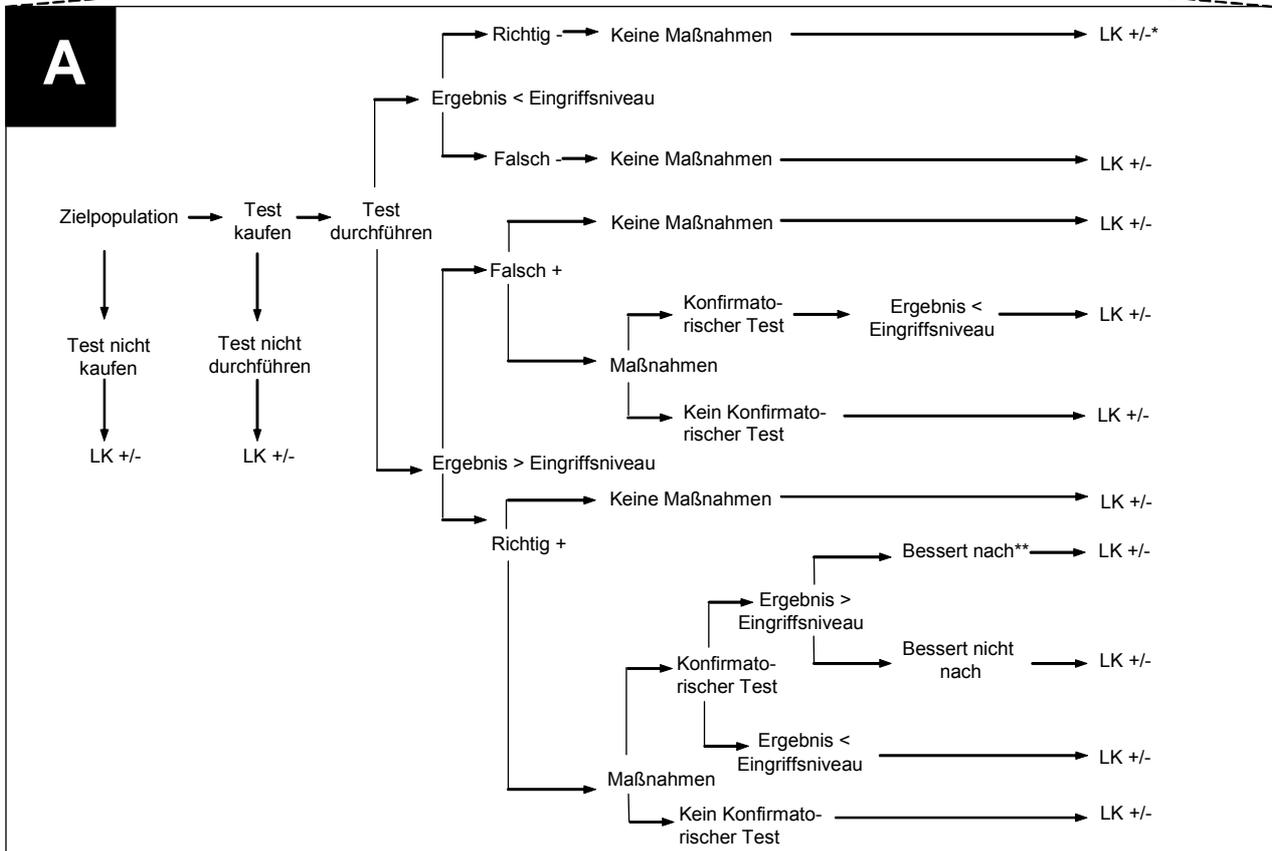
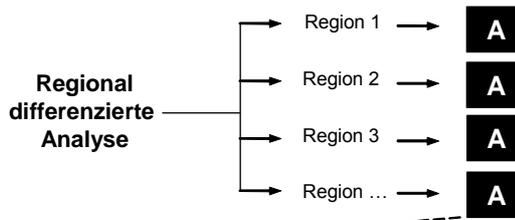
Zur Berechnung der Kosten-Effektivität kommt das folgende Schema zur Anwendung:

$$\text{Kosteneffektivität} = \text{Nettokosten} / \text{Netto-Outcome}$$

Die Nettokosten der jeweils analysierten Interventionsstrategie ergeben sich dabei aus den Kosten für das Radonscreening der Wohngebäude (Anschaffung, Durchführung, Auswertung von Radontests) zuzüglich der Aufwendungen für die Sanierung von übermäßig belasteten (>EN) Gebäuden, beziehungsweise die radonsichere Konstruktion von Neubauten, abzüglich der verminderten Krankheitskosten. Als Ergebnisparameter gehen die Kosten je vermiedenen Lungenkrebs beziehungsweise je gewonnenes Lebensjahr in die Analyse ein. Gewonnene Lebensjahre werden auch um Qualitätsaspekte adjustiert und als generisches Outcomemaß, sogenannte quality-adjusted life-years (QALY) dargestellt, um eine Vergleichbarkeit von Radoninterventionen mit anderen gesundheitsbezogenen Maßnahmen zu gewährleisten. Der Interventionseffekt wird als Produkt aus Expositionssenkung für die betroffene Population und Risikomaß berechnet, welches den kausalen Zusammenhang zwischen Exposition und Erkrankung beschreibt. Für diese Untersuchung wird das Berechnungsschema auch um Daten zur Compliance mit Empfehlungen zu Screening/Sanierung ergänzt, welche bislang in Kosteneffektivitätsanalysen überwiegend vernachlässigt wurden.

Insgesamt werden 5 Szenarien (S1-3: Radonsanierung; S4-5: radonsicheres Bauen, siehe Tabelle) mit Hilfe des Modells untersucht und deren inkrementelles Kosteneffektivitätsverhältnis (ICER) in Relation zum Base-Case (keine Grenzwerte bezüglich der Radonbelastung in Wohnräumen; Radonverteilung/radonbedingte Lungenkrebsinzidenz entsprechen der aktuellen Situation in Deutschland) berechnet. Dabei stellt jedes Szenario eine spezifische Interventionsstrategie mit unterschiedlichen regulativen Eingriffen hinsichtlich Radonscreening/-sanierung, bzw. präventiver Maßnahmen im Zuge eines Neubaus dar:

S1 umfasst ein flächendeckendes Radonscreening sowie obligatorische Interventionsmaßnahmen, deren Effektivität nachzuweisen und gegebenenfalls verpflichtend zu optimieren ist. In S2 entscheiden die Betroffenen nach dem ebenfalls obligatorischen Screening eigenverantwortlich über etwaige Sanierungen, wohingegen



* LK+/- bezeichnet die (nicht) an Lungenkrebs erkrankten Individuen.

** Es wird angenommen, dass die individuelle Radonbelastung nach einer Nachbesserung des ersten Sanierungsvorhabens dem durchschnittlichen Niveau aller sanierten Gebäude entspricht.

Hinweis: Die zugehörigen Wahrscheinlichkeiten an den Entscheidungs- und Endknoten des Modells werden in der Grafik nicht dargestellt, da diese in Abhängigkeit von dem betrachteten Szenario sowie der betrachteten Region erheblich variieren. Für eine detaillierte Erläuterung siehe Text.

Abbildung 1:
Schematische Darstellung des entscheidungstheoretischen Modells zur KEA von Radoninterventionsmaßnahmen an bestehenden Gebäuden (Radonsanierung)

im Rahmen von S3 alle Haushalte auch selbst den Kauf sowie die Durchführung und Auswertung von Radontests verantworten. S4 beinhaltet nach Abschluss obligatorischer Präventionsmaßnahmen an Neubauten konfirmatorische Tests bezüglich deren Effektivität analog zu S1-3, einschließlich weiterer Maßnahmen bei unzureichender Expositionssenkung. In S5 dagegen werden nach erfolgter Prävention keine Radontests durchgeführt. Dementsprechend entfallen auch weiterführende Interventionsmaßnahmen.

5. ERGEBNISSE

5.1 ANALYSEERGEBNISSE

Die Analyseergebnisse der entscheidungstheoretischen Modellierung zeigen, dass die höchste inkrementelle Kosteneffektivität im Vergleich zum Status Quo mit 25.181 € (95%-Konfidenzintervall: 7.371 - 90.593 €) je ge-

wonnenes QALY bei Einführung eines flächendeckenden Screeningprogramms und der obligatorischen Sanierung aller Gebäude (S1) mit Belastungen $>100 \text{ Bq/m}^3$ erreicht werden kann (vgl. Tabelle 1 für eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisparameter für die bundeseinheitliche Umsetzung aller analysierten Strategien).

Tabelle 1:
Ergebnisse der Kosteneffektivitätsanalyse im Rahmen einer bundeseinheitlichen Umsetzung (beste Schätzwerte und 95%-Konfidenzintervall)

Eingriffsniveau	Kosten je vermiedenen Lungenkrebs (in € ₂₀₀₆)			Kosten je gewonnenes Lebensjahr (in € ₂₀₀₆)			Kosten je gewonnenes QALY (in € ₂₀₀₆)		
Szenario 1: universelles Radonscreening und obligatorische Sanierung									
100 Bq/m³	290.783			21.542			25.181		
95%-KI	84.218	–	998.828	6.228	–	77.958	7.371	–	90.593
200 Bq/m³	441.896			32.738			38.269		
95%-KI	158.680	–	1.419.220	11.446	–	1.11.791	13.517	–	128.516
400 Bq/m³	866.683			64.194			75.040		
95%-KI	352.574	–	2.614.187	25.034	–	205.083	29.847	–	241.336
Szenario 2: universelles Radonscreening und fakultative Sanierung									
100 Bq/m³	3.453.179			255.865			299.091		
95%-KI	1.512.712	–	10.246.390	107.609	–	798.173	127.218	–	912.002
200 Bq/m³	4.124.749			305.629			357.279		
95%-KI	1.813.017	–	12.364.020	128.352	–	974.664	150.681	–	1.125.602
400 Bq/m³	6.530.178			483.913			565.733		
95%-KI	2.851.377	–	19.996.272	202.463	–	1.566.675	240.449	–	1.831.015
Szenario 3: fakultatives Radonscreening und fakultative Sanierung									
100 Bq/m³	5.952.603			441.604			516.194		
95%-KI	2.532.500	–	18.439.678	183.884	–	1.432.058	216.136	–	1.664.953
200 Bq/m³	7.227.648			536.229			626.823		
95%-KI	3.094.365	–	22.800.194	222.096	–	1.773.986	263.381	–	2.047.420
400 Bq/m³	11.506.097			853.768			998.092		
95%-KI	4.864.284	–	3.723.099	351.540	–	2.875.680	417.808	–	3.331.200
Szenario 4: obligatorische Radonprävention; obligatorisches Screening und ggf. weitere Maßnahmen									
100 Bq/m³	803.000			59.326			69.367		
95%-KI	311.064	–	2.397.231	22.081	–	190.804	26.104	–	222.269
200 Bq/m³	802.582			59.294			69,329		
95%-KI	31.093	–	2.391.686	22.069	–	191.190	26,009	–	221,853

400 Bq/m ³	804.476			59.433			68,166		
95%-KI	312.018	-	2.399.868	22.122	-	191.540	26,119	-	222,655
Szenario 5: obligatorische Radonprävention; keine weiteren Maßnahmen									
-*	747.291			55.456			64.855		
95%-KI	2.672.870	-	2.392.363	19.343	-	186.379	22.390	-	217.025

* Eingriffs-niveaus sind für Szenario 5 nicht relevant, da jeder Neubau mit Radonschutzmaßnahmen ausgestattet, die Radonkonzentration nach Baufertigstellung nicht gemessen und dementsprechend auch keine etwaig angezeigten Nachbesserungen durchgeführt werden

QALY = qualitätsadjustiertes Lebensjahr

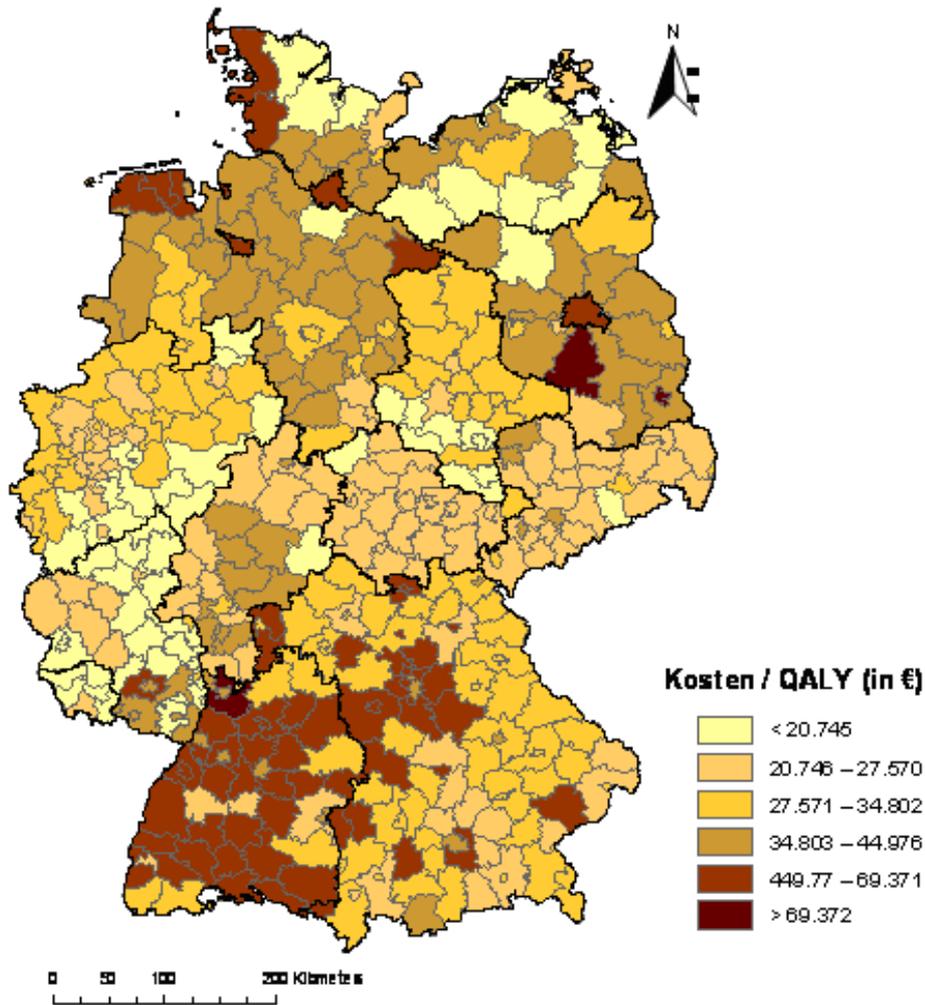
Diese optimale Strategie gilt auch auf Ebene aller Bundesländer und Landkreise sowie für definierte Hochrisikogebiete mit den höchsten Radonvorkommen in deutschen Wohngebäuden. Andere Interventionen, die stärker auf eigenverantwortliches Testen/Sanieren belasteter Wohngebäude setzen (S2-3), haben dagegen einen weitaus geringeren Einfluss auf die Lungenkrebsinzidenz und weisen - verglichen mit dem Status Quo - deutlich niedrigere inkrementelle Kosteneffektivitätsverhältnisse auf, da auch bei hohen Konzentrationen überwiegend keine Interventionsmaßnahmen durchgeführt werden und somit insbesondere die Screeningkosten je saniertes Wohnhaus überproportional ansteigen.

In den Regionen mit hoher Kosteneffektivität fallen die Unterschiede zwischen den analysierten Szenarien jedoch geringer aus, da in Relation zu den belastungsunabhängigen Screeningkosten ein größerer Anteil der Gebäude saniert wird und dementsprechend auch mehr Krankheitsfälle vermieden werden können. Höhere Eingriffs-niveaus führen ebenso durchweg zu schlechteren Kosteneffektivitätsverhältnissen als das optimale EN (100 Bq/m³), wobei auch diesbezügliche Unterschiede in den Regionen mit einem hohen Anteil stark belasteter Wohnhäuser signifikant geringer ausfallen, da höhere Eingriffs-niveaus zu mehr vermiedenen Erkrankungen je durchgeführter Sanierung führen. Dies wird jedoch immer überkompensiert, durch die höhere Zahl an Tests, die nötig ist, um ein sanierungsbedürftiges Gebäude zu identifizieren. Die Analyse der 16 deutschen Bundesländer offenbart ein Spektrum der Kosteneffektivität von etwa 17.000 €/QALY in Sachsen-Anhalt bis circa 52.000 €/QALY in Bremen. Die kleinräumige Analyse auf Basis der deutschen Landkreise zeigt, dass die Kosten für ein gewonnenes qualitätsadjustiertes Lebensjahr in bestimmten Gebieten mit - aus der Perspektive der Kosteneffektivität betrachtet - günstigen Voraussetzungen etwa 12.000 € und somit weniger als die Hälfte des durchschnittlichen Aufwands für Deutschland betragen können. Andere Regionen dagegen weisen auch im Rahmen der optimalen Strategie im Extremfall ein Kosteneffektivitätsverhältnis von mehreren Hundert Millionen € je QALY auf (vgl. Abbildung 2 für eine kleinräumige kartografische Darstellung der Ergebnisse im Rahmen der optimalen Strategie).

Werden allein die höchst belasteten Gebiete Deutschlands bei der KEA berücksichtigt, welche lediglich 7,5% (Gebiete, deren Radonbelastung mehr als ~50% über dem nationalen Durchschnitt liegt) beziehungsweise etwas über 2% (Radonbelastung >100% über nationalem Durchschnitt) der deutschen Wohngebäude beinhalten, so kann ein Kosteneffektivitätsverhältnis von rund 20.000 €/QALY erreicht werden. Dabei ließe sich die radonbedingte Lungenkrebsinzidenz um ~20% beziehungsweise ~10% der insgesamt im Rahmen einer national einheitlichen Strategie vermeidbaren Fälle reduzieren.

Auch die Ausstattung von Wohngebäuden mit Radonschutzmaßnahmen im Zuge von Neubauten weist im direkten Vergleich mit der nachträglichen Sanierung im Rahmen von S1 ein deutlich schlechteres inkrementelles Kosteneffektivitätsverhältnis gegenüber dem Status Quo auf. So betragen die Kosten/QALY im Rahmen einer bundeseinheitlichen Strategie 65.855 € (95%-KI: 20.390-217.025 €) in Szenario 5. Wird das Ergebnis der Radonintervention nach Baufertigstellung durch einen konfirmatorischen Test überprüft und gegebenenfalls weitere Maßnahmen ergriffen (Szenario 4), verschlechtert sich die inkrementelle Kosteneffektivität auf circa 69.000 €, da dem Aufwand für das nachträgliche Screening der betroffenen Wohnhäuser nur sehr geringe Effekte gegenüberstehen.

Die obligatorische Radonprävention (Szenario 5) ohne weitere Eingriffe erweist sich auch auf allen regionalen Ebenen als dominante Strategie (Strategie mit dem größten berechneten Nutzen) gegenüber Szenario 4. Das Ergebnisspektrum auf Bundeslandebene bewegt sich dabei zwischen circa 39.000 € in Thüringen und circa 116.000 € in Berlin. In einzelnen Landkreisen kann bestenfalls ein Kosteneffektivitätsverhältnis von rund 15.000 €/QALY erreicht werden, in seltenen Fällen betragen die Kosten je qualitätsadjustiertes Lebensjahr bis zu 1 Mio. €.



* Intervallgrenzen wurden mit Hilfe des Jenks-Caspell Algorithmus (Natural Breaks) definiert.

Abbildung 2:
Regionale Verteilung der Kosteneffektivität der Radonsanierung in Deutschland auf Landkreis-
ebene (Szenario 1; EN=100 Bq/m³)

Die Ergebnisse dieser Studie, vor allem im Rahmen der kleinräumigen Analyse, zeigen darüber hinaus, dass die Effekte von Radoninterventionsmaßnahmen neben der Radonbelastung der betrachteten räumlichen Einheit in erheblichem Maße durch weitere regional sehr heterogen verteilte Faktoren determiniert sind, die bislang bei der Planung von Interventionsstrategien fast vollständig vernachlässigt wurden. Daher kann nicht unmittelbar von dem individuellen Radonvorkommen auf die Kosteneffektivität von Interventionen geschlossen werden. So hat insbesondere das Basisrisiko der Lungenkrebskrankung einen signifikanten Einfluss auf die Kosteneffektivität, da die relativen Risiken der Radonexposition und weiterer lungenkrebsverursachender Noxen (z. B.: Tabakkonsum) häufig einen multiplikativen Zusammenhang aufweisen. Ebenso von Bedeutung für die Kosteneffektivität sind bestimmte Parameter der Bevölkerungs- und Gebäudestruktur, beispielsweise die Anzahl der Personen je sanierter Wohneinheit, da bei einer hohen Belegungsquote mehr Individuen von der Intervention profitieren. Werden diese Faktoren bei der Gestaltung einer optimalen regionalen Interventionsstrategie (Szenario 1; EN = 100 Bq/m³) berücksichtigt, so könnte beispielsweise das Ziel, die radonbedingte Lungenkrebsinzidenz um 30% zu reduzieren mit einem um 15% niedrigeren finanziellen Aufwand erreicht werden als im Rahmen einer Interventionsstrategie, die lediglich an der Radonbelastung orientiert ist.

5.2 ANSÄTZE ZUR INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

In der deutschen Umwelt- und Gesundheitspolitik existieren bislang keine allgemein akzeptierten Werte bezüglich der Zahlungsbereitschaft für einen bestimmten Gesundheitszuwachs. In anderen Ländern gibt es dazu einige Fallbeispiele, die als Orientierungspunkte herangezogen werden können. In den Niederlanden beispielsweise gelten medizinische Interventionen mit Kosten bis zu 20000 €/QALY als effizient, wobei kürzlich ein höherer Schwellenwert von 80.000 € empfohlen wurde. In Großbritannien werden Kosten von 20.000-30.000 £ je QALY (\pm 23.000-34.500 €) gemeinhin als akzeptabel erachtet. Auch US-amerikanische Autoren verwenden mitunter einen Grenzwert für die Beurteilung gesundheitsbezogener Interventionen. Dieser beträgt etwa 50.000 \$/QALY (\pm 37500 €). Die WHO gibt den Wert eines QALYs als Faustregel mit dem dreifachen Bruttoinlandsprodukt/Kopf/Jahr an (für Deutschland: \sim 90.000 €). Es bleibt jedoch anzumerken, dass eine schlüssige theoretische Fundierung der Bestimmung der nationalen Zahlungsbereitschaft in den einzelnen Ländern bislang ebenso fehlt wie eine umfassende methodisch fundierte Untersuchung und monetäre Bewertung von Präferenzen als Grundlage der tatsächlichen WTP (willingness to pay, maximale Zahlungsbereitschaft). Eine Analyse von 109 internationalen Kosteneffektivitätsstudien im Bereich der Gesundheitsintervention ergab, dass bei Kosten von mehr als 166.000 \$/QALY (\pm 125.000 €) die Implementierung der Maßnahme überwiegend abgelehnt wurde. Eine weitere Möglichkeit der Beurteilung von Interventionsmaßnahmen besteht darin, ex post zu analysieren, welche Interventionen in der Praxis bereits umgesetzt wurden und welches Kosteneffektivitätsniveau dabei erreicht werden konnte. Im Bereich umweltbeeinflusster Gesundheitsstörungen existieren für Deutschland keine diesbezüglichen Untersuchungen. Für den US-amerikanischen Raum finden sich dagegen Studien z. B. für die Beseitigung von Schadstoffen im Trinkwasser oder Sicherheitsstandards für den beruflichen Umgang mit Gefahrgütern. Dabei zeigt sich, dass mitunter auch Maßnahmen umgesetzt wurden, deren Kosteneffektivitätsverhältnis gängige Grenzwerte um ein vielfaches übersteigt.

Insgesamt bestätigen die genannten internationalen Erfahrungen somit, dass insbesondere Szenario 1, in Kombination mit einem Eingriffsniveau von 100 Bq/m³, für den überwiegenden Anteil der untersuchten regionalen Zusammenhänge ein vergleichsweise günstiges Kosteneffektivitätsverhältnis aufweist, auch dann noch, wenn alle vorhandenen Unsicherheitsbereiche der vorliegenden Analyse berücksichtigt werden. Ein verpflichtendes Radonscreening mit anschließender Sanierung bei Überschreiten eines Grenzwertes von 100 Bq/m³ kann daher für viele Regionen Deutschlands sowie im Rahmen einer bundeseinheitlichen Interventionsstrategie zumindest aus Wirtschaftlichkeitsperspektive durchaus gerechtfertigt werden. Obgleich alle anderen Strategien in jedem regionalen Kontext von der Strategie 1 überboten werden, zeigen die Ergebnisse regionalspezifischer Analysen darüber hinaus, dass in einzelnen Untersuchungszusammenhängen auch andere Interventionsstrategien eine akzeptable Kosteneffektivität aufweisen können. Ebenso kann das radonsichere Bauen unter bestimmten Voraussetzungen den Anforderungen an ökonomisch vertretbare Interventionen gerecht werden.

5.3 EINSCHRÄNKUNGEN DER ANALYSE UND FAZIT

Für viele Daten, insbesondere bezüglich der Compliance, liegen nur Werte aus angloamerikanischen Studien vor. Inwiefern sich diese auf den deutschen Kontext übertragen lassen, ist naturgemäß fraglich. Darüber hinaus mussten im Rahmen der KEA des radonsicheren Bauens einige Modellparameter, insbesondere hinsichtlich der Populations- und Gebäudestruktur aus der Untersuchung bestehender Wohnhäuser extrapoliert werden. In dieser Hinsicht beruht die Kosteneffektivitätsanalyse vor allem auf der Annahme, dass die regionale Verteilung der Radonkonzentration in existierenden Gebäuden und Neubauten als identisch erachtet werden kann. Auch für die Kosten der Radonintervention konnten nur wenig detaillierte Informationen erhoben werden, da diese a priori nur bedingt kalkulierbar sind und für Deutschland kaum empirische Daten vorliegen. Es zeigte sich jedoch in der probabilistischen Analyse der Basismodelle, dass die Ergebnisse der KEA durch die Unsicherheit bezüglich der berücksichtigten Kostenparameter nur geringfügig beeinflusst werden. Des Weiteren wurde die dem Modell zu Grunde liegende Radonverteilung Deutschlands nicht für jede Region auf Basis der gleichen Messpunktdichte berechnet. Dünnbesetzte Kreise mussten teilweise durch spezifische Extrapolationsverfahren aufgefüllt werden. Vor allem die Ergebnisse auf der Ebene von Landkreisen sollten daher lediglich als Schätzwerte basierend auf dem aktuell besten verfügbaren Wissen betrachtet werden.

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass im Rahmen dieses Forschungsvorhabens, anhand einer detaillierten Kosteneffektivitätsanalyse sowie weiterer Untersuchungen, aufgezeigt werden konnte, wie ein Entscheidungsträger basierend auf seiner Zahlungsbereitschaft für zusätzliche Gesundheit, in Verbindung mit individuellen Prämissen hinsichtlich Art und Umfang regulativer Einflussnahme optimale kleinräumige Strategien zur Verringerung der Radonkonzentration in deutschen Wohngebäuden definieren kann. Substantielle Unsicherheiten wurden im Rahmen umfangreicher Sensitivitätsanalysen berücksichtigt und nach Möglichkeit

stets konservative Annahmen getroffen, so dass es nicht zu einer Überschätzung der Wirtschaftlichkeit kommt. Insgesamt könnten die Modellergebnisse jedoch erheblich präzisiert werden, wenn künftige Forschung genauere und detailliertere regional differenzierte Parameter liefert.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine Methode aufgezeigt, anhand derer der Entscheidungsträger, entsprechend seiner maximalen Zahlungsbereitschaft für den Interventionseffekt sowie der Präferenz bezüglich des Umfangs regulativer Einflussnahme unter der Nebenbedingung beschränkter Ressourcen, eine individuell optimale, regional differenzierte Strategie zur Verringerung der Radonkonzentration in Wohngebäuden definieren kann. Diese Methode kann als Grundlage für zielgruppenspezifische Kommunikationsstrategien unter Berücksichtigung ökonomischer Aspekte dienen. Diese gesundheitsökonomischen Berechnungen können durchaus auch für andere für den Strahlenschutz wichtige Themengebiete angewendet werden.

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens können in die Risikokommunikation Radon einfließen, vor allem im Hinblick auf die Risikokommunikation mit politischen Entscheidungsträgern und auch mit Baufachleuten. Entsprechend wird das BfS die Resultate für die weitere Vorgehensweise nutzen, insbesondere auch im Hinblick auf die Kooperation mit der WHO auf dem Gebiet des Schutzes vor Radon.

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Subject area 08
Non-ionising radiation

Thema			
Systematische Erfassung aller Quellen nichtionisierender Strahlung, die einen relevanten Beitrag zur Exposition der Bevölkerung liefern können			
Subject			
<i>Systematic ascertainment of all non-ionising radiation sources relevant for general public exposure</i>			
Kennzeichen 3609S80004	Beginn 01.07.2009	Ende 30.06.2010	Fördermittel EUR 137.019,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
IMST GmbH, Kamp-Lintfort, EM-Institut GmbH, Regensburg, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Hildesheim			
Projektleitung M. Schubert, Prof. Dr. M. Wuschek, Dr. H. Brüggemeyer	Fachbetreuung BfS D. Geschwentner / AG-SG 1.2	verantwortlich für den Text M. Schubert	

1. ZIELSETZUNG

Mit dem zunehmenden Technisierungsgrad der Umwelt steigt auch die Zahl der künstlichen Quellen, die zu einer Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber nichtionisierender Strahlung beitragen können. Nichtionisierende Strahlung sind elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder in einem Frequenzbereich von 0 Hertz bis 300 Gigahertz sowie optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 Nanometer bis 1 Millimeter. Die gleichzeitige Einwirkung der Aussendungen mehrerer Emittenten sowie neue Technikentwicklungen stellen in diesem Zusammenhang aktuelle Herausforderungen für den Strahlenschutz und die damit befassten Stellen dar.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war die systematische Identifizierung von künstlichen Quellen nichtionisierender Strahlung gemäß oben stehender Definition, die einen in Bezug auf die einschlägigen, wissenschaftlich anerkannten, internationalen Grenzwertempfehlungen relevanten Beitrag zur Exposition von Personen der allgemeinen Bevölkerung liefern können. Auch neue und absehbare Technikentwicklungen sollten dabei berücksichtigt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 BEWERTUNGSMAßSTÄBE FESTLEGEN

Als Bestandteil der im Abschnitt 1 beschriebenen systematischen Identifizierung wurden für verschiedene Frequenz- und Wellenlängenbereiche Bewertungsmaßstäbe festgelegt, an Hand derer beurteilt werden konnte, ob eine Quelle nichtionisierender Strahlung einen relevanten Beitrag zur Exposition von Personen der allgemeinen Bevölkerung liefern kann.

2.2 KONZEPT FÜR SYSTEMATISCHE ERFASSUNG ENTWICKELN

Für eine möglichst vollständige Erfassung künstlicher Quellen samt Expositionsdaten wurde zunächst ein geeignetes Konzept entwickelt. Bezüglich der Vorgehensweise wurden Quellen etablierter Technologien von Quellen neuer und absehbarer Technikentwicklungen sinnvollerweise unterschieden. Zusammen mit den entwickelten Bewertungsmaßstäben aus Abschnitt 2.1 war somit ein systematisches Vorgehen bei der Identifizierung möglich.

2.3 BEWERTUNG ALLER NICHTIONISIERENDEN QUELLEN

Nachdem die Quellen nichtionisierender Strahlung erfasst und die damit verbundene Exposition ermittelt wurde, erfolgte eine Beurteilung dieser Quellen im Hinblick auf ihre Relevanz gemäß den in Abschnitt 2.1 entwickelten Bewertungsmaßstäben.

Die Expositionsdaten wurden eigenen Arbeiten der Auftragnehmer sowie der publizierten wissenschaftlichen Literatur und verfügbaren nationalen und internationalen Forschungsberichten entnommen. Sofern für einige Quellen noch keine belastbaren Expositionsdaten vorlagen oder auf o. g. Wege nicht ermittelt bzw. recher-

chert werden konnten, erfolgte auf der Grundlage frei verfügbarer Informationen (z. B. auf Basis von Strom- und Spannungswerten, Leitergeometrien, (Sende)leistungen, Abstrahleigenschaften und typischen Benutzerabständen) eine einfache und nachvollziehbare Expositionsabschätzung.

3. METHODIK

Ausgangspunkt für die Festlegung von Bewertungsmaßstäben ist eine Literaturrecherche. Für die vorliegende Aufgabenstellung als brauchbar bewertete Ansatzpunkte aus der Recherche waren anzupassen und entsprechend weiterzuentwickeln. Für das Konzept für die systematische Identifizierung von Quellen wurde ein szenarien- bzw. quellenbezogener Ansatz gewählt.

4. DURCHFÜHRUNG

Für die Literaturrecherche wurden eigene Forschungsarbeiten der Auftragnehmer sowie anderer Arbeitsgruppen und Publikationen aus Literaturdatenbanken und dem Internet ausgewertet. Hinzukommend wurden auch aktuelle Beratungen in einschlägigen nationalen und internationalen Gremien herangezogen. Ein in der Literatur bereits beschriebenes Bewertungsschema auf Punktbasis wurde auf den vom aktuellen Projekt abzudeckenden Frequenzbereich einschließlich der optischen Strahlung ausgeweitet. Anschließend wurden alle erfassten Quellen nichtionisierender Strahlung anhand dieses weiterentwickelten Schemas bewertet und auf ihre Relevanz für die Exposition der allgemeinen Bevölkerung beurteilt.

5. ERGEBNISSE

5.1 BEWERTUNGSMAßSTÄBE FÜR QUELLEN NICHTIONISIERENDER STRAHLUNG

Aus den bekannten Wirkungsmechanismen nichtionisierender Strahlung, den daraus abgeleiteten nationalen und internationalen Grenzwertempfehlungen sowie aus allgemeinen Grundsätzen des Strahlen- und Umweltschutzes wurden Kriterien für die Bewertung von Quellen nichtionisierender Strahlung abgeleitet. Im Bereich der elektromagnetischen Felder (0 - 300 GHz) gehören hierzu z. B. die Stärke der Exposition, die Häufigkeit der Exposition, die Möglichkeit der multiplen Exposition aus einem Gerät oder einer Anlage, die zukünftige Verbreitung oder die Frage, ob eine Grenzwertüberschreitung möglich ist, wobei der bestimmungsgemäße und der nicht bestimmungsgemäße Gebrauch zu unterscheiden sind. Im Bereich der optischen Strahlung fließen neben den gerade genannten Kriterien zusätzlich z. B. auch die Form der Leistungsabgabe und die Quellgröße mit ein.

Diesen Kriterien werden in einem Bewertungsschema Punkte zugeordnet. Die erreichte Punktzahl einer jeden Quelle repräsentiert die Relevanz für den Beitrag zur Exposition der Bevölkerung.

5.2 KONZEPT FÜR DIE SYSTEMATISCHE IDENTIFIZIERUNG VON QUELLEN ETABLIERTER TECHNOLOGIEN

Für die systematische Identifizierung von Quellen, die innerhalb von Gebäuden betrieben werden, wurde der Schwerpunkt auf ein szenarienbezogenes Konzept gelegt. Hierzu wurden die relevanten Alltagsszenarien Heimbereich, Arbeitsbereich, Freizeitbereich, Einkaufsumgebung, Verkehrsmittel, der medizinische Bereich und der Wellnessbereich definiert, die im weiteren Verlauf hinsichtlich möglicher Quellen analysiert wurden. Zusätzlich wurden die solchermaßen gewonnenen Informationen auch durch einen quellenbezogenen Ansatz ergänzt. Für Quellen, die außerhalb von Gebäuden betrieben werden, wurde ebenfalls ein quellenbezogener Ansatz gewählt. Zusätzlich wurde für Telekommunikationsanwendungen der Frequenznutzungsplan der Bundesnetzagentur ausgewertet, der einen Frequenzbereich von 9 kHz bis 275 GHz umfasst.

5.3 KONZEPT FÜR DIE SYSTEMATISCHE IDENTIFIZIERUNG VON QUELLEN ZUKÜNFTIGER TECHNOLOGIEN

Für die systematische Identifizierung von Quellen neuer und absehbarer Technologien mit den entsprechenden Expositionen wurden Informationsquellen wie Literatur und Internet ausgewertet und Kontakt zu Herstellern, Branchenvertretern, Forschungsinstituten, Normengremien, europäischen und internationalen Facharbeitskreisen und Berufsverbänden aufgenommen.

Es wurde das Ziel angestrebt, mit den gewonnenen Daten und einfachen Rechenmodellen die zu erwartenden Immissionswerte abzuschätzen.

5.4 IDENTIFIZIERTE RELEVANTE QUELLEN: NIEDER- UND HOCHFREQUENZ

Die folgende Tabelle enthält diejenigen Quellen, die nach Auswertung anhand des Bewertungsschemas für den Bereich von Niederfrequenz und Hochfrequenz als relevant anzusehen sind. Anhand des Bewertungsschemas wird eine Quelle als „relevant“ angesehen, wenn sie 14 Punkte oder mehr aufweist. Von 0 bis 6 Punkten ist eine Quelle als „nicht relevant“ und von 7 bis 13 Punkten als „bedingt relevant“ einzustufen. Die Maximalpunktzahl des Bewertungsschemas beträgt 20. Der Bereich der „bedingt relevanten“ Quellen stellt einen Übergangsbereich dar; Quellen aus diesem Bereich sind zwar zurzeit als nicht relevant einzustufen, können aber auf Grund der Nähe zur Relevanzschwelle ggf. durch geringfügige Änderungen in der Bewertung (z. B. Häufigkeit der Exposition) in die Klassifizierung „relevant“ übergehen und sollten daher auch in Zukunft nicht außer Acht gelassen werden.

Tabelle 1:

Übersicht über die relevanten Quellen aus dem Niederfrequenz- / Hochfrequenz-Bereich

Gerätetyp / Anlage [erreichte Punktzahl]	Bemerkung
Bandschleifer, Bodenstaubsauger, Bohrhammer, Bohrmaschine (Handgerät), Deltaschleifer, Elektrischer Dosenöffner, Elektrischer Fuchsschwanz, Elektrische Spritzpistole, Elektrofeile, Elektrosäge, Entsafter, Excenterschleifer, Haarföhn, Haarschneidemaschine, Handkreissäge, Heckenschere, Induktionsherd, Kapp- und Gehrungsmaschine, Kreissäge, Küchenmaschine, Küchenschneidemaschine, Lötkolben, Messerschleifgerät, Mixer (Handrührgerät), Mixer (Standgerät), Motorsäge, Multischleifer, Oberfräse, Rasenmäher (elektrisch), Rasentrimmer (elektrisch), Rasierapparat, Schlagbohrmaschine, Schweißgerät, Schwingschleifer, Standbandschleifmaschine, Stichsäge, Tischventilator, Winkelschleifer [20]	Bewertung: <u>Niederfrequenz</u> Für die Bewertung wurde der entsprechende geräteabhängige Koppelfaktor nach Norm DIN EN 62233 verwendet. Die mit dem Koppelfaktor gewichtete Ausschöpfung des Referenzwertes für das magnetische Feld kann über 100% liegen. Über die Einhaltung des Basisgrenzwertes gibt es keine Angaben in der Literatur.
Netzteile, Spielzeugtrafo, Trockenhaube [20]	Bewertung: <u>Niederfrequenz</u> Ein Koppelfaktor für diese Geräte ist in der Norm DIN EN 62233 nicht explizit angegeben. Um dennoch die Feldinhomogenität, den Einfluss der Messsonde und die Dimension von Kopf oder Rumpf des Nutzers zu berücksichtigen, wurde für die Bewertung ein Koppelfaktor von 0,21 berücksichtigt, dessen Wert dem 95 % Perzentil aller in der Norm angegebenen Koppelfaktoren entspricht. Die mit diesem Koppelfaktor gewichtete Ausschöpfung des Referenzwertes für das magnetische Feld kann über 100% liegen. Über die Einhaltung des Basisgrenzwertes gibt es keine Angaben in der Literatur.
Neodymmagnet [20]	Bewertung: <u>Magnetisches Gleichfeld</u> Ein Koppelfaktor für dieses Bauteil ist in der Norm DIN EN 62233 nicht explizit angegeben. Um dennoch die Feldinhomogenität, den Einfluss der Messsonde und die Dimension von Kopf oder Rumpf des Nutzers zu berücksichtigen, wurde für die Bewertung ein Koppelfaktor von 0,21 berücksichtigt, dessen Wert dem 95% Perzentil aller in der Norm angegebenen Koppelfaktoren entspricht. Die mit diesem Koppelfaktor gewichtete Ausschöpfung des Referenzwertes für das magnetische Feld kann über 100% liegen.
Computermaus auf Ladepad [20]	Bewertung: <u>Niederfrequenz</u> Die Ausschöpfung des Referenzwertes für das magnetische Feld kann über 100% liegen. Über die Einhaltung des Basisgrenzwertes gibt es keine Angaben in der Literatur.

Gerätetyp / Anlage [erreichte Punktzahl]	Bemerkung
Erdkabel (220/380 kV) [20]	Bewertung: <u>Niederfrequenz</u> Bei maximaler Anlagenauslastung können die magnetischen Feldstärkewerte unter ungünstigen Randbedingungen oberhalb des entsprechenden Grenzwertes liegen.
Freileitung (380 kV bzw. 220 / 380 kV System) [20]	Bewertung: <u>Niederfrequenz</u> Die elektrischen Feldstärkewerte können oberhalb des entsprechenden Grenzwertes liegen.
GSM (Global System for Mobile Communications)-Mobiltelefon [15]	Bewertung: <u>Niederfrequenz</u> Ein Koppelfaktor für dieses Gerät ist in der Norm DIN EN 62233 nicht explizit angegeben. Um dennoch die Feldinhomogenität, den Einfluss der Messsonde und die Dimension von Kopf oder Rumpf des Nutzers zu berücksichtigen, wurde für die Bewertung ein Koppelfaktor von 0,21 berücksichtigt, dessen Wert dem 95% Perzentil aller in der Norm angegebenen Koppelfaktoren entspricht.
GSM / UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) Mobiltelefon [17]	Bewertung: <u>Hochfrequenz</u> SAR (spezifische Absorptionsrate) -Grenzwertüberschreitung bei nicht bestimmungsgemäßen Gebrauch möglich.
Magnetfeldmatte [20]	Bewertung: <u>Niederfrequenz</u> Die Ausschöpfung des Referenzwertes für das magnetische Feld kann über 100% liegen. Über die Einhaltung des Basisgrenzwertes gibt es keine Angaben in der Literatur.
Mikrowellenherd [15]	Bewertung: <u>Hochfrequenz</u> Bei einem sehr alten Gebrauchtgerät wurde eine Überschreitung des Referenzwerts festgestellt.
Notebook [20]	Bewertung: <u>Niederfrequenz</u> Die Ausschöpfung des Referenzwertes für die elektrische Feldstärke kann über 100% liegen. Über die Einhaltung des Basisgrenzwertes gibt es keine Angaben in der Literatur.
RFID (Radio Frequency Identification)-Warenausgangsanlage [20]	Bewertung: <u>Niederfrequenz</u> Die Ausschöpfung des Referenzwertes kann für das magnetische Feld über 100% liegen. Über die Einhaltung des Basisgrenzwertes gibt es keine Angaben in der Literatur. Bewertung: <u>Hochfrequenz</u> Überschreitung der Referenzwerte Über die Einhaltung des Basisgrenzwertes gibt es keine belastbaren Angaben in der Literatur.
WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)-Endgerät [14]	Bewertung: <u>Hochfrequenz</u> SAR-Grenzwertüberschreitung bei direktem Körperkontakt möglich (nicht bestimmungsgemäßer Gebrauch).

5.5 IDENTIFIZIERTE RELEVANTE QUELLEN: OPTIK

Die folgende Tabelle enthält diejenigen Quellen, die nach Auswertung anhand des Bewertungsschemas für den Bereich der optischen Strahlung als relevant zu betrachten sind. Zu beachten ist, dass die Gruppe der Lampen und Lampensysteme aus der Erfassung von relevanten optischen Quellen herausgenommen wurde, da diese ihrem Verwendungszweck entsprechend nach Vorgabe der DIN EN 62471 bewertet werden.

Anhand des entwickelten Bewertungsschemas wird eine Quelle optischer Strahlung als relevant angesehen, wenn sie 9 Punkte oder mehr aufweist. Von 2 bis 8 Punkten ist eine Quelle als nicht relevant einzustufen. Die Maximalpunktzahl des Bewertungsschemas beträgt 23.

Tabelle 2:
Übersicht über die relevanten Quellen aus dem Bereich Optik

Gerätetyp / Anlage [erreichte Punktzahl]	Bemerkung
Laserpointer [23]	Grenzwertüberschreitung nach dem Bewertungsschema bei nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch möglich.

Gerätetyp / Anlage [erreichte Punktzahl]	Bemerkung
IR (Infrarot)-Wärmekabine [23]	Hier findet immer eine Grenzwertüberschreitung nach dem Bewertungsschema statt. Die rechtsgültige Norm für IR-Wärmekabinen ist die DIN EN 60335-2-53.
Solarium [23]	Hier findet immer eine Grenzwertüberschreitung nach dem Bewertungsschema statt. Für neue Geräte soll zukünftig im UV-Bereich die Obergrenze von $0,3 \text{ Wm}^{-2}$ für die wirksame Bestrahlungsstärke gelten.
Gesichtsbräuner [23]	Hier findet immer eine Grenzwertüberschreitung nach dem Bewertungsschema statt. Für neue Geräte soll zukünftig im UV-Bereich die Obergrenze von $0,3 \text{ Wm}^{-2}$ für die wirksame Bestrahlungsstärke gelten.
Intensed pulsed light (IPL) – Gerät (kosmetische und medizinische Anwendung z. B. zur Haarentfernung) [23]	Hier findet immer eine Grenzwertüberschreitung nach dem Bewertungsschema statt. Die Exposition umfasst den UV-, VIS (sichtbares Licht)- und IR-Bereich.
UV (Ultraviolett)-Geldscheinprüfer [23]	Bei der Bewertung eines älteren Modells wurde eine Grenzwertüberschreitung nach dem Bewertungsschema festgestellt.
DVD-Laufwerk [23]	Hierbei handelt es sich um ein geschlossenes System. Es kann allerdings bei nicht bestimmungsgemäßen Gebrauch zu einer Grenzwertüberschreitung kommen.
Blue Ray Laufwerk [23]	Hierbei handelt es sich um ein geschlossenes System. Es kann allerdings bei nicht bestimmungsgemäßen Gebrauch zu einer Grenzwertüberschreitung kommen.
LED (lichtemittierende Diode)-Taschenlampe [16]	Grenzwertüberschreitung bei nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch möglich.
Nivellierlaser (Heimwerkerbedarf) [14]	Grenzwertüberschreitung bei nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch möglich.
IR-Wärmelampe [14]	Grenzwertüberschreitung bei nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch möglich.
IR-Ganzkörperstrahler [14]	Grenzwertüberschreitung bei nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch möglich.
Projektionsdisplay (z. B. Datenbrillen) [10]	Über die Einhaltung der Grenzwerte für das Auge gibt es keine Angaben in der Literatur.
Beamer [9]	Über die Einhaltung der Grenzwerte für das Auge gibt es keine Angaben in der Literatur.

5.6 ZUKÜNFTIGE TECHNOLOGIEN

Für die systematische Identifizierung von Quellen neuer und absehbarer Technologien wurden Informationsquellen wie Literatur und Internet ausgewertet sowie Kontakt zu Herstellern, Branchenvertretern, Forschungsinstituten, Normengremien, europäischen und internationalen Facharbeitskreisen und Berufsverbänden aufgenommen. Die Resonanz auf diese Anfragen war eher gering und es erfolgten keine oder nur wenig konkrete Informationen. Die folgende Tabelle zeigt zusammenfassend zukünftig relevante Technologien.

Tabelle 3:
Übersicht über die zukünftig relevanten Technologien

Zukunftstechnologie	Belastbare Daten im Hinblick auf die Immission vorhanden	Unter bestimmten Annahmen vergleichbar mit ..	Zukünftige Beobachtung notwendig
LTE (Long Term Evolution)	Nein	GSM / UMTS	Ja
LTE advanced und weitere Mobilfunkgenerationen	Nein	GSM / UMTS	Ja
Drahtlose Internetanbindungen (BWA (Broadband Wireless Access), Femto-Zellen)	Nein	--	Ja

Zukunftstechnologie	Belastbare Daten im Hinblick auf die Immission vorhanden	Unter bestimmten Annahmen vergleichbar mit ..	Zukünftige Beobachtung notwendig
Sensor-Netze, Inhaus-Netze, Daten-Netze, In-Car, Car-to-Car, Car-to-infra-structure	Nein	Unter der Annahme der Verwendung von etablierten Funksystemen (z. B. Bluetooth, ZigBee) vergleichbar mit deren Immissionen.	Ja, auch vor dem Hintergrund einer möglichen Kumulation durch den Einsatz mehrerer Funk-systeme
Drahtlose Energieübertragung / Energy Harvesting	Nein	--	Ja, Simulation eines 10 kW System zum drahtlosen Aufladen eines Elektroautos lieferte unter ungünstigen Randbedingungen Feldwerte in der Größenordnung der Grenzwerte.
Verkehrswesen (Systeme wie Fahrsicherheit, Fahrassistenz, Verkehrssteuerung)	Nein	--	Ja
Magnetschwebebahnen	Nur vom Transrapid vorhanden; aber nicht für mögliche Nachfolger	--	Ja, da zukünftige Betriebsparameter nicht bekannt.
Body Area Network	Nein	--	Ja, trotz vermutlich nur geringer Sendeleistungen aber körpernahe Abstrahlung.
Terahertz-Scanner	Nein	--	Ja
Overlay-Energieübertragungs-netz (16 2/3 Hz)	Nein	Unter der Annahme ähnlichen Stromflusses vergleichbar mit der Exposition durch derzeit betriebene Freileitungen	Ja, da zukünftige Betriebsparameter nicht bekannt.
Hochspannungs- Gleichstrom- Übertragung (HGÜ)	Teilweise, aber zukünftige Betriebsparameter sind noch nicht bekannt	Für derzeitige Betriebsparameter bewertet und als „bedingt relevant“ eingestuft.	Ja, da zukünftige Verbreitung durch die Einbindung von erneuerbaren Energien stark ansteigen könnte und evt. einhergehende Änderungen der Betriebsparameter möglich sind.
LED	Teilweise vorhanden, kommt auf das Einsatzgebiet der LED an.	Laser	Ja
UV-LED	Nein	Laser	Ja
IR-LED	Nein	Laser	Ja
Laser	Ja	-	Ja, da hier mittlerweile viele unterschiedliche Wellenlängen und Ausgangsleistungen möglich sind.
Neuartige drahtlose Datenübertragung mittels Licht (z. B. Visible light communication (VLC))	Nein	IR-Datenübertragung	Ja, im Hinblick darauf, dass gesundheitliche Auswirkungen nicht bekannt sind.

In Zukunft wird es im Bereich der Niederfrequenz und Hochfrequenz immer mehr Quellen nichtionisierender Strahlung auf engem Raum geben. Dies macht es gerade für den Strahlenschutz erforderlich, die Exposition der einzelnen Quellen und deren Zusammenwirken genau zu erfassen, um eine Bewertung hinsichtlich der Einhaltung der Grenzwerte zu ermöglichen. Für die Bewertung von elektrischen und elektronischen Einrichtungen in Bezug auf Begrenzungen der Exposition von Personen in elektromagnetischen Feldern

(0 Hz - 300 GHz) existiert zwar die Norm EN 62311. Allerdings fehlen hier Spezifikationen hinsichtlich der Messmethodik bzw. für die Vorgehensweise zur korrekten Erfassung der Immissionen.

Im Bereich der optischen Strahlungsquellen ist zukünftig zu erwarten, dass bereits bekannte Quellen wie z. B. LEDs in immer neuen Anwendungen zu finden sein werden. Dies macht es schwierig, genaue Aussagen über das Gefährdungspotential einer Quelle zu treffen, da in eine Bewertung auch mit hinein spielt, wie z. B. die Quelle in dem Gerät verbaut ist. Eine optische Quelle sollte daher immer zusammen mit dem Gerät und somit ihrem Anwendungsgebiet betrachtet werden. Es ist auch wichtig, dass die jeweils korrekten Messmethoden angewendet werden, um so die Relevanz einer Quelle feststellen zu können. Dies gestaltet sich auf Grund der Vielfältigkeit der Anwendungen nicht einfach und zeigt sich auch in der hohen Anzahl der Normen, die zur Auswahl stehen, um optische Strahlungsquellen hinsichtlich z. B. der Bestrahlungsstärke zu bewerten.

Insgesamt zeigen die Untersuchungen deutlich, dass weiterer Forschungsbedarf zur Erfassung der Immissionen nicht nur für zukünftige Technikentwicklungen, sondern auch für heute bereits eingesetzte Geräte besteht.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Projektergebnisse enthalten Hinweise auf Quellen nichtionisierender Strahlung, bei denen Kenntnislücken bezüglich der möglichen Expositionen von Personen bestehen. Weiterhin geben sie Hinweise darauf, welche Techniken in Zukunft für die Exposition der Bevölkerung relevant werden könnten. Die Ergebnisse sollen daher bei der weiteren Planung von Forschungsvorhaben zur Schließung von Kenntnislücken berücksichtigt werden. Abgesehen von Ausnahmen unterliegen viele der als relevant identifizierten Quellen keinen gesetzlichen Strahlenschutzregelungen. Die Projektergebnisse sollen daher auch für eine Fortentwicklung der Regelungen zum Strahlenschutz und der Empfehlungen zur Strahlenschutzvorsorge verwendet werden.

Thema Bestimmung der individuellen UV-Exposition in Abhängigkeit von Lebensstil und aktuellem UV-Index			
Subject <i>Determination of the individual UV exposure depending on lifestyle and current UV index</i>			
Kennzeichen 3608S03012	Beginn 01.11.2008	Ende 31.01.2010	Fördermittel EUR 173.531,-
Forschungs- / Auftragnehmer Charité - Universitätsmedizin Berlin, Klinik für Psychiatrie, AG Medizinische Photobiologie			
Projektleitung Dr. H. Piazena	Fachbetreuung BfS Dr. C. Baldermann / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text Dr. H. Piazena, Dr. C. Baldermann	

1. ZIELSETZUNG

Ziel der Untersuchungen war die Bestimmung der erythemwirksamen solaren UV (Ultraviolett)-Exposition in verschiedenen mitteleuropäischen Bevölkerungsgruppen (von Kindern bis zu Senioren) in Abhängigkeit des individuellen Lebensstils und des aktuellen UV-Indexes (UVI) während der Frühjahrs- und Sommerperiode. Dies dient dazu, die gesundheitsschädigenden wie auch biopositiven Wirkungen solarer UV-Strahlung mit einer quantitativen Erfassung der realen, individuellen UV-Exposition im mitteleuropäischen Raum korrelieren zu können bzw. den Zusammenhang zwischen UV-Exposition, biopositiven Wirkungen und gesundheitlichen Risiken mit Hilfe quantitativer Aussagen zur individuellen UV-Exposition untermauern zu können. Auf Grundlage der Ergebnisse soll eine Aussage darüber ermöglicht werden, wie viel der individuell akkumulierten UV-Strahlung tatsächlich zur Synthese von ausreichenden Mengen an aktivem Vitamin D3 zur Verfügung steht.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zum Erreichen dieses Zieles wurden die nachfolgenden Einzelziele abgeleitet:

2.1 LITERATURSTUDIE

Zu Beginn des Projekts wurde eine ausführliche Literaturstudie als Grundlage der Untersuchungen erarbeitet. In dieser Studie wurden analysiert:

- die gegenwärtig verfügbaren Messverfahren zur Erfassung der individuellen, solaren UV-Exposition bezüglich erwünschter und unerwünschter Effekte,
- die gegenwärtig verfügbaren Berechnungs- und Schätzverfahren zur Erfassung personenbezogener solarer UV-Dosen und
- Beiträge zur UV-Dosimetrie in der jüngeren Literatur.

2.2 ERFASSUNG DER INDIVIDUELLEN UV-EXPOSITION IN ABHÄNGIGKEIT DEFINIERTER RANDBEDINGUNGEN

Zum Einen wurde hier die gemäß Außenaufenthalt maximal mögliche („potenzielle“) sowie die gemäß individuellem Aktivitätsprofil und persönlichen Schutzmaßnahmen („erwartete“) tägliche und kumulative solare UV-Exposition bei Außenaufenthalten unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht mit Hilfe dafür entwickelter Rechenverfahren abgeschätzt. Zum Anderen wurde die reale, individuelle UV-Exposition in einem Teilkollektiv der Probanden mittels Personendosimetern bestimmt.

2.3 ERFASSUNG STIMULIERTER PHOTOBIOLOGISCHER EFFEKTE IM UNTERSUCHUNGSZEITRAUM

Untersucht wurden die Effekte täglicher individueller UV-Expositionen auf die Stimulation photobiologischer Effekte wie Sonnenbrand (UV-Hauterythem), Hautpigmentierung und Vitamin-D3-Synthese.

2.4 CHARAKTERISIERUNG DER INDIVIDUELLEN TÄGLICHEN UV-EXPOSITION MIT HILFE DES UV-INDEX

Es wurde die individuell empfangene UV-Dosis mit dem UV-Index als Maß zur Charakterisierung der photo-biologischen Wirksamkeit der täglichen solaren UV-Einstrahlung korreliert.

2.5 RETROSPEKTIVE UND PROSPEKTIVE ABSCHÄTZUNG DER INDIVIDUELLEN UV-EXPOSITION GEMÄß AKTIVITÄTSPROFIL UND UV-INDEX

Zur verallgemeinernden Anwendung der Korrelation zwischen UV-Index, erythemwirksamer UV-Einstrahlung und individuellem Aktivitätsprofil wurde ein Verfahren zur retrospektiven Abschätzung wie auch zur prospektiven Vorhersage der zu erwartenden individuellen Erythemdosis als Funktion des UV-Indexes und der Basisdaten der Exposition abgeleitet.

2.6 EMPFEHLUNGEN FÜR EINEN GESUNDHEITSFÖRDERNDEN STRAHLENSCHUTZ

Die erhobenen Daten sollen die Grundlage für differenzierte Empfehlungen bezüglich individueller UV-Schutzmaßnahmen bilden, die sowohl das individuelle Aktivitätsprofil als auch die mit UV-Strahlung verbundenen positiven wie negativen Wirkungen berücksichtigen.

3. METHODIK

3.1 PROBANDEN

Nach Prüfung der definierten Ein- und Ausschlusskriterien wurden für die Untersuchungen rekrutiert:

- Erwachsene und Senioren differenziert nach Alter (18 - 73 Jahre), Geschlecht (m/w), Hauttyp (I - III), Body-Mass-Index (BMI), Lebensstil (gekennzeichnet durch das Aktivitäts- und Tätigkeitsprofil), soziale Voraussetzungen und persönliche Sonnenschutzmaßnahmen;
- Weiterhin wurden drei Kindergruppen im Kindergarten im Alter zwischen 2 und 6 Jahren sowie zwei Kindergruppen in Grundschulen im Alter zwischen 6 und 10 Jahren;
- Kinder und Jugendliche im Alter von 11 - 18 Jahren wurden nur insoweit berücksichtigt, als dass die potenziellen Expositionen während der Hofpausen von Schülern in Ganztagschulen abgeschätzt wurden.

Die rekrutierten Probanden erhielten keinerlei Hinweise oder Anweisungen in Bezug auf ihr Expositionsverhalten.

3.2 DATENERFASSUNG

3.2.1 Fragebögen

Zur Charakterisierung und Bewertung der solaren UV-Exposition der ausgewählten Probanden wurden folgende Fragebögen entwickelt:

- a) ein Fragebogen zur Erfassung der relevanten persönlichen Grunddaten (Alter, Geschlecht, Hauttyp, Größe, Gewicht, BMI, Gesundheitszustand, Schwangerschaft (bei Frauen), etwaige Ausschlusskriterien, beruflich-/soziale Strukturen, Alkohol-/Tabakkonsum, Freizeitgewohnheiten),
- b) ein zweiter Fragebogen zur Erfassung des täglichen Außenaufenthaltes eines jeden Probanden hinsichtlich seiner solaren UV-Exposition, seiner Aktivität und der getroffenen individuellen Sonnenschutzmaßnahmen sowie von Sonnenbrandereignissen (Probandentagebuch),
- c) ein dritter Fragebogen zur Selbsteinschätzung des täglichen Außenaufenthaltes, des dabei gegebenen Aktivitätsprofils und der getroffenen Sonnenschutzmaßnahmen, sowie
- d) ein vierter Fragebogen zur Selbsteinschätzung des persönlichen UV-Hauttyps durch die Probanden vor Beginn der Beobachtungsphase.

3.2.2 Individuelle UV-Exposition und UV-Index

Grundlage zur Berechnung und Bewertung der individuellen UV-Exposition aus Fragebogendaten waren Stundensummen der erythemwirksamen solaren UV-Einstrahlung und Berechnungen des UV-Index, die im Rahmen routinemäßiger, spektralradiometrisch gestützter Messungen des Deutschen Wetterdienstes an der Station Lindenberg bestimmt wurden. Die Station Lindenberg ist Teil des Deutschen UV-Messnetzes und befindet sich im südöstlichen Teil des definierten Aufenthaltsraumes der Kampagne (Raum Berlin). Aufenthalte

von Probanden außerhalb des Raums Berlin wurden gesondert protokolliert und mit den am jeweiligen Ort für die UV-Exposition relevanten Daten (UV-Index, Bewölkung, Höhenlage) bewertet.

Zur Überprüfung der Berechnungsverfahren wurden parallel direkte Messungen der Tagesdosen erythemwirksamer Strahlung an 10 Probanden für jeweils 10 Tage mit Filmdosimetern des Typs Viospor (Fa. Biosense, Bornheim) vorgenommen. Die Personendosimeter waren von den Probanden täglich vor Beginn der Exposition zu wechseln und für Bewegungen im Strahlungsfeld auf dem Kopf zu tragen, so dass sich bei Blickrichtung zum Horizont eine horizontale Messposition ergab. Bei liegender oder anderweitig in ruhender Position erfolgender Exposition war das Dosimeter entsprechend horizontal zu lagern.

Die Angaben zur einfallenden wie auch zur empfangenen solaren UV-Strahlung erfolgten in Einheiten der mittleren Minimalen Erythemdosis für unadaptierte, gesunde Personen mit dem UV-Hauttyp II (1 MED = 250 J/m²).

3.2.3 Hautfarbe

Messungen der Hautfarbe zur Erfassung der intermittierenden, saisonalen Hautbräunung erfolgten im Rhythmus von zwei Wochen jeweils an der Stirn und an der Außenseite des Unterarms der in die Studie eingeschlossenen Erwachsenen mit Hilfe eines Farbmessgerätes des Typs „Spectropen“ (Fa. Dr. Lange, Dortmund).

3.2.4 25(OH)D3-Serumkonzentration

Der Effekt der im saisonalen Verlauf erfolgten solaren UV-Expositionen auf die 25(OH)D3-Serumkonzentration wurde vor Beginn und am Ende des Beobachtungszeitraumes an den in die Studie eingeschlossenen Erwachsenen bestimmt. Kontrollparameter waren dabei die Konzentrationen von Kalzium und Phosphat (anorganisch) im Blut.

3.3 BERECHNUNGEN, BEWERTUNGSGRÖßEN UND KLASSIFIZIERUNG DER PROBANDEN

Für jeden Probanden wurden folgende Tageswerte berechnet und mit dem aktuellen UV-Index korreliert:

- die potenzielle erythemwirksame UV-Exposition und
- die erwartete erythemwirksame UV-Exposition.

Die Berechnungen erfolgten

- a) aus Messwerten der erythemwirksamen UV-Einstrahlung und den Angaben der Probanden bezüglich Außenaufenthalt, Aktivität und getroffener Schutzmaßnahmen (Abschattungen, Bekleidung, Sonnenschutzmittel) sowie
- b) aus der Verknüpfung saisonaler Mittelwerte des Verhältnisses Erythemwirksame Einstrahlung/UV-Index mit aktuellen Daten des UV-Indexes und mit den unter (a) genannten Probandenangaben.

Die potenzielle UV-Exposition ergab sich dabei aus der Aufenthaltsdauer im gegebenen Strahlungsfeld der Sonne bei Annahme fehlender Schutzfaktoren, während die erwartete UV-Exposition Verminderungen der UV-Hautbestrahlung durch Bewegungen (Positionswechsel) im gegebenen Strahlungsfeld, das Aufsuchen von Schatten, individuelle Schutzmaßnahmen (Kleidung, Sonnenschutzmittel) berücksichtigte.

Aus den Tageswerten der gemäß (a) bestimmten potenziellen und der erwarteten erythemwirksamen UV-Exposition wurden die kumulativen (monatlichen und saisonalen) Summen wie auch die monatlichen Mittelwerte berechnet.

Zur Klassifizierung der Aktivitätsgrundmuster während der Außenaufenthalte wurden 6 Aktivitätskennzahlen definiert. Auf Grund der Heterogenität der Außenaktivitäten, infolge der der überwiegenden Mehrzahl der Probanden in Abhängigkeit der Tages- und Jahreszeit unterschiedliche Aktivitätskennzahlen zuzuordnen waren, erwies es sich als zweckmäßig,

- den extensiven Nutzungsgrad und
- den intensiven Nutzungsgrad

zusätzlich zur Bewertung des täglichen Außenaufenthaltes der Probanden einzuführen.

Der extensive Nutzungsgrad charakterisiert die im Verlauf des täglichen Außenaufenthaltes maximal mögliche Erythemdosis im Vergleich zum erythemwirksamen solaren Strahlungseinfall zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang.

Der intensive (aktivitätsbedingte) Nutzungsgrad bewertet die Wirksamkeit aller Effekte und Maßnahmen, die das tatsächlich auf der Haut empfangene Strahlungsfeld schwächen, wie geometrisch bedingte Einschränkungen der Exposition und Vorkehrungen zum Sonnenschutz.

Die Definition des extensiven und des intensiven Nutzungsgrades ermöglichte eine Klassifizierung der Probanden in Nutzungsklassen der im Tagesverlauf verfügbaren erythemwirksamen UV-Einstrahlung, die den Weg zur verallgemeinernden Abschätzung der potenziellen und der erwarteten Exposition mit Hilfe vorliegender oder prognostizierter Werte des UV-Indexes eröffnete. Hierfür wurden entsprechende Formeln und Nomogramme abgeleitet, die für retrospektive Untersuchungen wie auch für prospektive Abschätzungen zu erwartender UV-Expositionen in Abhängigkeit der Nutzungsklasse und des UV-Indexes herangezogen werden können.

Die Klassifizierung der Probanden bezüglich des extensiven und des intensiven Nutzungsgrades erfolgte in je 10 Stufen, von Klasse 1 für eine Nutzung von maximal 10% bis zur Klasse 10 für eine Nutzung zwischen 90% und 100% der möglichen Exposition.

3.4 STATISTISCHE DATENANALYSE

Trend- und statistische Analysen erfolgten mittels Regressions- und Korrelationsanalyse und nach Prüfung auf Normalverteilung mit Hilfe des t-Tests unter Anwendung des Statistikpakets SPSS für Windows, Version 18.0.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 LITERATURSTUDIE

Die Literaturstudie wurde erstellt.

4.2 EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

Die experimentellen Untersuchungen der solaren UV-Exposition erfolgten im Rahmen gruppenweise erfolgreicher Kampagnen.

5. ERGEBNISSE

5.1 LITERATURSTUDIE

Aus der Literaturstudie wurden die Anforderungen an personendosimetrische Messsysteme bezüglich ihrer spektralen, geometrischen Anpassung und ihrer zeitlichen Auflösung sowie die Anforderungen an die Datengewinnung zur Erfassung und Bewertung individueller solarer UV-Expositionen abgeleitet.

5.2 SOLARE UV-EINSTRALUNG IM UNTERSUCHUNGSGEBIET

Die Tagessummen der erythemwirksamen UV-Einstrahlung der Sonne variierten im Untersuchungszeitraum zwischen etwa 3,0 und 16,5 MED und zeigten den regional zu erwartenden Jahresgang, während die Beträge des UV-Index am Mittag zwischen 0,5 und etwa 8,0 schwankten. Für Strahlenschutzmaßnahmen ist bedeutsam, dass etwa 30% der Tagessumme erythemwirksamer UV-Einstrahlung zwischen 11.00 Uhr und 13.00 Uhr WOZ (wahre Ortszeit) einfielen, zwischen 10 und 14 Uhr WOZ etwa 50 - 60% sowie zwischen 9.00 und 15.00 Uhr WOZ etwa 75 - 85%. Entsprechend kritisch sind Expositionszeiten am Mittag mit Schwellenzeiten zum Erreichen der Minimalen Erythemdosis, die beispielsweise für $UVI \approx 8$ (entsprechend einer erythemwirksamen Bestrahlungsstärke von ca. $0,2 \text{ W/m}^2$) und Hauttyp I (mit einer mittleren erythemwirksamen Schwellenbestrahlung von 200 J/m^2) bei annähernd 17 Minuten liegen, während Außenaufenthalte vor 9.00 Uhr WOZ und nach 15 Uhr WOZ wesentlich längere Expositionszeiten zum Erreichen der Erythemschwellendosis erfordern und daher weniger kritisch sind.

5.3 VERGLEICH DER BERECHNUNGSVERFAHREN MIT PERSONENDOSIMETRISCHEN MESSUNGEN (VIOSPOR)

Die gemäß 3.3.a berechneten Tagesdosen zeigten im Vergleich zu den personendosimetrisch bestimmten Daten Überbewertungen um etwa 40% bei gemessenen Tagesdosen bis zu 1,0 MED, um etwa 34% bei gemessenen 2,0 MED bis hin zu etwa 17% bei Messwerten der Personendosimeter von 5,0 MED. Bei der Be-

wertung dieser Daten ist zu berücksichtigen, dass sowohl die relativen Fehler der Berechnung als auch die relativen Fehler der personendosimetrischen Messung mit kleiner werdenden Absolutbeträgen der Tagesdosis steigen. Die dargestellten Abweichungen zwischen den mit beiden Methoden unter mobilen Bedingungen bei wechselnden Strahlungsfeldern generierten Daten verdeutlichten darüber hinaus die Grenzen einer unter unterschiedlichen Bewegungszuständen unterliegenden und durch Probanden selbstverantwortlich ausgeführten UV-Personendosimetrie. Weiterhin zeigten Vergleiche der personendosimetrisch bestimmten Daten mit den Messwerten des Deutschen Wetterdienstes und Analysen der Tagebuchaufzeichnungen, dass einige Probanden trotz Instruktion und Training nur begrenzt in der Lage waren, die geforderten geometrischen Expositionsbedingungen über die gesamte Außenaufenthaltszeit hinweg exakt einzuhalten wie auch die eigenen Expositionsbedingungen exakt zu charakterisieren.

Die gemäß 3.3.a und 3.3.b berechneten Tageswerte der erwarteten UV-Exposition wichen in den meisten Fällen um weniger als 20% voneinander ab. Lediglich bei instabilen Wetterlagen mit zwischenzeitlichen Wolkenaufzügen resultierte die Berechnung gemäß 3.3.b in Überbewertungen der tatsächlich gegebenen Tagesdosis mit größeren Differenzen gegenüber den nach 3.3.a berechneten Daten. Somit erscheint die Anwendung des Verfahrens nach (b) zur Abschätzung der erwarteten UV-Exposition an Tagen, an denen eine annähernd stabile Wetterlage vorliegt, als gerechtfertigt.

5.4 UV-EXPOSITION ERWACHSENER UND VON SENIOREN

5.4.1 Expositionsverhalten und akkumulierte UV-Dosen

Zur Charakterisierung des Expositionsverhaltens wurden der extensive und der intensive Nutzungsgrad solarer UV-Strahlung für männliche und weibliche Erwachsene unterschiedlichen Geschlechts und Alters analysiert.

Bezüglich des extensiven Nutzungsgrades zeigte sich, dass

- die Mehrzahl der Probanden in die Nutzungsklassen 3 und 4 einzugruppiert war, so dass sich die während des Außenaufenthaltes empfangene erythemwirksame Dosis auf Werte bis zu 20% bzw. bis zu 30% der Tagessumme belief,
- die Klassen größerer extensiver Nutzung des täglichen UV-Strahlungsangebotes mit zunehmendem Nutzungsgrad immer weniger besetzt waren, jedoch saisonale Verschiebungen der Häufigkeitsverteilung vom Maximum in den Klassen 3 und 4 während der Frühlingsmonate hin zu einem Maximum in den Klassen 3 bis 5 im Sommer aufwiesen, die durch jahreszeitliche Änderungen des Freizeitverhaltens und durch Urlaub zu erklären waren,
- die Mehrzahl der Probanden im Seniorenalter beiden Geschlechts größere Beträge des extensiven Nutzungsgrades im Vergleich zu jungen Erwachsenen aufwies, die im Mittel etwa einer bis zwei Klassenstufen des extensiven Nutzungsgrades entsprachen und auf das größere Freizeitpotential zurückzuführen waren,
- die Beträge für Männer und Frauen vergleichbar waren, so dass geschlechtsabhängige Differenzen bezüglich der extensiven Nutzung nicht nachgewiesen werden konnten.

Die Analyse des intensiven Nutzungsgrades ergab:

- maximale Häufigkeiten in den Nutzungsklassen 1 und 2 und abnehmende Probandenzahlen in Klassen mit größer werdendem intensivem Nutzungsgrad, so dass die während des Außenaufenthaltes „potenziell“ zur Verfügung stehende erythemwirksame UV-Strahlung von der Mehrzahl der Probanden zu 0 - 10% (Klasse 1) und zu 10 - 20% (Klasse 2) genutzt wurde,
- vergleichbare Beträge zwischen Männern und Frauen, so dass geschlechtsabhängige Differenzen bezüglich der intensiven Nutzung nicht nachgewiesen werden konnten,
- Größere Beträge für Erwachsene jüngeren Alters im Vergleich zu Senioren, die im Mittel etwa einer Klassenstufe entsprachen und durch die größere Bereitschaft zu leichter und weniger abdeckender Bekleidung begründet waren.

Infolge wechselnder (wetterbedingter) Einstrahlungsverhältnisse und durch wechselnde Aktivitätsmuster waren die UV-Expositionen der Probanden insgesamt als episodenhaft zu charakterisieren.

Im Monatsmittel ergaben sich tägliche, erwartete UV-Expositionen mit jahreszeitlichem Gang, die für die Mehrzahl der Probanden jedoch in allen Monaten bei Beträgen unter 1 MED pro Tag lagen, für wenige Personen jedoch bis zu 3,5 MED in einzelnen Monaten erreichten.

Entsprechend rangierten unter Berücksichtigung des Bekleidungs Zustands für systemische Effekte repräsentative Kumulativdosen für die Mehrzahl der Probanden saisonal bei Beträgen zwischen 40 MED und 100 MED, erreichten in Einzelfällen jedoch auch Beträge zwischen 100 MED und 250 MED. Lokal variierten die saisonalen Kumulativdosen in der Mehrzahl der Fälle auf der Haut zwischen 100 MED und 200 MED, während für einzelne Probanden Beträge zwischen 250 MED und 450 MED gemäß Expositionsangaben berechnet wurden.

5.4.2 Photobiologische Wirkungen

Während der Beobachtungsperioden zeigten sich an einzelnen Probanden Sonnenbrände, die im direkten Zusammenhang mit akuten und einzeln quantifizierbaren Überexpositionen bei verstärkter Sonneneinstrahlung standen.

Auf Grund der Episodenhaftigkeit der UV-Expositionen zeigten die Probanden im saisonalen Verlauf Wechsel zwischen zunehmender und abnehmender Pigmentierung mit Zeitskalen von 2 - 4 Wochen, die vom individuellen Hauttyp sowie von der kumulativen Wirkung der aufeinander folgenden Expositionen abhingen.

Für die Mehrzahl der Probanden konnten trotz der Episodenhaftigkeit der UV-Expositionen wesentliche saisonale Anstiege der 25(OH)D₃-Konzentration nachgewiesen werden.

5.5 EXPOSITION VON KINDERN IM KINDERGARTEN UND IN EINER GRUNDSCHULE

Die Analyse der Exposition von Kindern im Kindergarten zeigte, dass die Expositionen der Kinder in die Klassen 2 - 4 bezüglich des extensiven Nutzungsgrades und in die Klassen 1 - 2 des intensiven Nutzungsgrades einzuordnen waren, so dass etwa 20 - 40% der Tagessumme erythemwirksamer UV-Einstrahlung „potenziell“ während des Außenaufenthaltes der Kinder gegeben waren, von denen jedoch auf Grund angewandter Schutzmaßnahmen 10 - 20% auf die reale Exposition der Kinder entfielen.

Diesen Expositionsbedingungen entsprechend ergaben sich in den Monaten Juli und August maximale Tageswerte der erwarteten UV-Exposition bis zu etwa 2 MED. Damit bestand an diesen Tagen die reale Gefahr einer akuten Überexposition, die die verantwortlichen Erzieherinnen auf Grund fehlender Messmittel und Informationen nicht ohne weiteres vorhersehen konnten.

Eine noch verschärfte Situation zeigte sich bei der Analyse der UV-Exposition der Schüler in den Klassenstufen 1 und 4 insbesondere während einer Klassenfahrt und während der Ferienbetreuung, während die Expositionen in der Zeit des normalen Schulbetriebs annähernd vergleichbar waren mit den Expositionen im Kindergarten. Infolge der verstärkten Außenaktivitäten während der Klassenfahrt und während der Ferienbetreuung erhöhte sich der extensive Nutzungsgrad bei annähernder Beibehaltung des intensiven Nutzungsgrades. Dies hatte zur Folge, dass die erwartete UV-Exposition lokal auf der Haut Tageswerte bis zu etwa 3,6 MED annahm.

5.6 EXPOSITION VON SCHÜLERN DER KLASSEN 1 - 13 WÄHREND DER HOFPAUSEN IN GANZTAGSSCHULEN

Für Schüler in Ganztagschulen der Klassen 1 bis 13 wurde die erwartete UV-Exposition während der vorgegebenen Hofpausen am Beispiel von 10 Berliner Ganztagschulen und -gymnasien berechnet. Die Organisation der Hofpausen in den Schulen war dabei unterschiedlich in Bezug auf die Dauer und zeitliche Verteilung am Tag. Die Abschätzungen der UV-Exposition erfolgten unter der Annahme ständiger Bewegung und aufrechter Körperhaltung der Schüler auf dem Schulhof, saisongemäßer Bekleidung und Außenaufenthalt ohne vorherige Benutzung von Sonnencreme und ohne Vorhandensein abschattender Objekte. Da der Schulbetrieb überwiegend in der Zeitspanne zwischen 8:00 Uhr und 16:00 Uhr erfolgte, auf die etwa 90% der Tagessumme erythemwirksamer Sonneneinstrahlung entfallen, wurden Expositionen außerhalb dieser Zeiten vernachlässigt.

Die aus den Messwerten der Stundensummen erythemwirksamer UV-Einstrahlung berechneten Daten zeigten sommerliche Maxima der lokal erwarteten Exposition zwischen 0,6 MED in der Schule mit dem kleinsten Hofpausenangebot und 1,8 MED in der Schule mit dem größten Angebot.

In den Monaten April und Mai schwankten die Beträge der erwarteten UV-Exposition in der Schule mit kleinstem Hofpausenangebot unter Berücksichtigung des Bekleidungs Zustands der Schüler zwischen 0,04 MED und 0,12 MED, während in der Schule mit dem größten Hofpausenangebot bereits Tagesdosen von 0,12 MED bis 0,30 MED erreicht wurden, denen jedoch Beträge der lokal erwarteten UV-Exposition zwischen 0,60 MED und 1,50 MED entgegenstanden.

5.7 KONSEQUENZEN FÜR DIE RISIKOBEWERTUNG UND BEGRENZUNG INDIVIDUELLER AUßENAUFENTHALTE MIT HILFE DES AKTUELLEN UV-INDEX

Die ausschließliche Anwendung des UV-Index (UVI) zur Einschätzung des individuellen Bestrahlungsrisikos gemäß WHO (2002) ist unzureichend. Die Einbeziehung folgender weiterer Parameter ist notwendig:

- die aus dem UV-Index resultierende Bestrahlungsdauer zum Erreichen der minimalen Erythemdosis (MED) am Mittag (Ter) für die Hauttypen I – IV;
- die Angabe der Risikoklasse (gering, moderat, hoch, extrem) auf Basis der minimalen Schwellenbestrahlungszeiten (Ter) am Mittag und der für die Hauttypen I – IV zugeordneten Beträge des UV-Index.

Die Angabe erwarteter Schwellenbestrahlungszeiten zu definierten Zeiten am Vormittag, am Mittag und am Nachmittag, z. B. 10.00 Uhr, 13.00 Uhr und 15.00 Uhr MESZ, für definierte Zielgruppen (Kinder in öffentlichen Einrichtungen, etc.) ist als ergänzende Information hinzuzufügen. In Tabelle 1 wird beispielhaft die Klassifizierung des Gesundheitsrisikos bei solarer UV-Hautexposition von nicht vorbestrahlten Personen mit den UV-Hauttypen I – IV in Abhängigkeit des UV-Index auf Basis der erwarteter Schwellenbestrahlungszeiten des UV-Hauterythems am Mittag gezeigt.

Tabelle 1: Klassifizierung des Gesundheitsrisikos bei solaren UV-Hautexpositionen nicht vorbestrahlter Personen mit den UV-Hauttypen I - IV in Abhängigkeit des UV-Index auf Basis der erwarteter Schwellenbestrahlungszeiten des UV-Hauterythems am Mittag

UV-Hauttyp	Risikoklassen in Abhängigkeit von UV-Index und UV-Hauttyp			
	gering (Ter > 60 min)	moderat (40 min ≥ Ter > 60 min)	hoch (20 min ≥ Ter > 40 min)	extrem (Ter ≤ 20 min)
I	UVI < 2	2 ≤ UVI < 3	3 ≤ UVI < 7	UVI ≥ 7
II	UVI < 3	3 ≤ UVI < 4	4 ≤ UVI < 8	UVI ≥ 8
III	UVI < 4	4 ≤ UVI < 6	6 ≤ UVI < 12	UVI ≥ 12
IV	UVI < 5	5 ≤ UVI < 7	7 ≤ UVI < 15	UVI ≥ 15

Eine weitere sinnvolle Ergänzung zur Abschätzung des Gesundheitsrisikos ist die zusätzliche Berücksichtigung repräsentativer Aktivitätsmuster gemäß extensivem und intensivem Nutzungsgrad.

In Kombination mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen bezüglich der UV-Expositionszeiten zur Produktion eines optimalen Vitamin D₃-Status im menschlichen Körper sind die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens dazu geeignet, Aussagen darüber zu machen, welche individuellen Verhaltensweisen zu einer Optimierung des Vitamin D-Status im menschlichen Körper beitragen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die bisherigen Empfehlungen bezüglich UV-Exposition und UV-Schutzverhalten orientieren sich an den Vorgaben zu den einzelnen Hauttypen und dem UV-Index, der ausschließlich die Erythembildung als ausschließende biologische Wirkung berücksichtigt. Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens ermöglichen eine realitätsnahe retrospektive wie auch prospektive Abschätzung der individuellen UV-Exposition. In Kombination mit dem Wissen über den UV-abhängigen Auf- und Abbau von Vitamin D₃ im menschlichen Körper können die hier erarbeiteten Berechnungsverfahren als Grundlage für Empfehlungen hinsichtlich des richtigen UV-Schutzverhaltens zur Optimierung des Vitamin D Status im menschlichen Körper dienen.

Die Ergebnisse des Vorhabens sind für das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) von unmittelbarem Nutzen, da sie dazu geeignet sind, den Zusammenhang zwischen UV-Exposition, biopositiven Wirkungen, gesundheitlichen Risiken und UV-Schutzmaßnahmen mit Hilfe quantitativer Aussagen zur individuellen UV-Exposition zu untermauern.

Thema Laiengerechte Kommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten im Bereich EMF			
Subject <i>Laymen adequate communication of scientific uncertainties in the field of EMF</i>			
Kennzeichen 3608S03016	Beginn 14.10.2008	Ende 31.01.2010	Fördermittel EUR 189.614,-
Forschungs- / Auftragnehmer IKU GmbH, Dortmund, Prof. Dr. Peter M. Wiedemann, Berlin			
Projektleitung Dr. F. Claus, Prof. Dr. P. M. Wiedemann	Fachbetreuung BfS C. Egblomassé-Roidl / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text S. Löchtfeld	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Forschungsvorhabens war, die Kenntnisse über die Einflussfaktoren einer gelingenden Risikokommunikation im Bereich wissenschaftlicher Unsicherheiten zu vertiefen und Strategien zur laiengerechten Risikokommunikation für die Bereiche der nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Felder (EMF) zu erarbeiten.

Adressaten der Kommunikation sind die allgemeine Bevölkerung, Multiplikatoren und Stakeholder.

Dabei war die zentrale Frage, wie der wissenschaftliche Kenntnisstand einschließlich der verbleibenden Unsicherheiten kommuniziert werden kann, ohne die Besorgnis zu vergrößern oder einen Vertrauensverlust in die Wissenschaft bzw. den Absender der Information hervorzurufen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 KONZEPT KOMMUNIKATION UNSICHERHEIT

Die Erstellung eines Konzeptes für die Kommunikation von Unsicherheit war Ziel der ersten Phase. Ergebnis war eine Unsicherheitstypologie und eine differenzierte Beschreibung von Unsicherheitsformaten.

2.2 INFORMATIONSBEDÜRFNISSE UND -STRATEGIEN

Ziel der zweiten Phase war, mögliche bzw. bereits praktizierte Strategien zur Darstellung wissenschaftlicher Unsicherheiten gegenüber der Öffentlichkeit zu untersuchen und die Informationsbedürfnisse der Zielgruppen zu identifizieren.

2.3 ÜBERPRÜFUNG DER WIRKUNG VON TEXTFORMATEN

In der dritten Phase wurde durch psychologische Experimente geprüft, wie sich die Nennung von wissenschaftlichen Unsicherheiten und deren Begründungen auf die Versuchspersonen auswirken.

2.4 STRATEGIEENTWICKLUNG

Die Entwicklung einer Kommunikationsstrategie wissenschaftlicher Unsicherheiten erfolgte in der vierten und letzten Phase.

3. METHODIK

In Phase 1 entstand ein Bild der Unsicherheitsbeschreibungen verschiedener Organisationen inklusive einer Unsicherheitstypologie. Grundlage dazu war ein Screening von Beschreibungsformate von Unsicherheiten und eine Literaturanalyse zur Risikokommunikation von wissenschaftlichen Unsicherheiten.

Die Informationsbedürfnisse der allgemeinen Bevölkerung und von Multiplikatoren und Stakeholdern wurden mittels Fokusgruppen in Phase 2 erhoben. Mittels Experteninterviews wurden praktizierte Risikokommunikations-

tionsstrategien im Bereich der niederfrequenten und hochfrequenten elektromagnetischen Felder analysiert. Erfolgsfaktoren zur Vermittlung wissenschaftlicher Unsicherheiten aus Erfahrungen in anderen Themenfeldern wurden schriftlich per Fragebogen erfragt und in einem eintägigen Hearing diskutiert.

In der dritten Phase wurden die Wirkungen von Beschreibungsformaten in einem Experiment getestet. Das 3x2x2-faktorielle Design enthielt 12 Textvarianten zur Kommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten zur Existenz eines Risikos, dessen Größe oder den Risikoschutz. Der erste Faktor war die Nennung / Nichtnennung von wissenschaftlichen Unsicherheiten; der zweite die Nennung / Nichtnennung von Begründungen für das Bestehen dieser Unsicherheiten.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorgehen gliederte sich in folgende Phasen:

1. Konzept Unsicherheit;
2. Informationsbedürfnisse und Strategien;
3. Überprüfung der Wirkung von Textformaten;
4. Strategieentwicklung.

Im Ergebnis der Phase 1 liegt eine Typologie von Unsicherheiten vor: wissenschaftliche Unsicherheiten in Bezug auf die Existenz eines Risikos, dessen Größe oder den Risikoschutz. Diese dienten der empirischen Analyse von Unsicherheitsbeschreibungen EMF auf deutschsprachigen Internetseiten des BfS und anderer Akteure. Außerdem wurde eine Literaturanalyse zur Kommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten erstellt.

Der Fokus der bisherigen Kommunikation im Themenfeld der nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Felder wurde in 30 Experteninterviews vertieft. Außerdem wurden in der zweiten Phase die beiden Schwerpunkte Informationsbedürfnisse der Zielgruppen - mittels Fokusgruppen - und Erfolgsfaktoren der Kommunikation von Unsicherheiten in anderen Themenfeldern (Expertenbefragung und Hearing) beleuchtet.

Die Wirkungen von ausgewählten Beschreibungsformaten wurden in der dritten Phase in drei Experimenten überprüft.

Die Ergebnisse der vorangegangenen Phasen flossen in der vierten Phase in die Entwicklung einer Strategie zur Risikokommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten im Bereich EMF ein.

5. ERGEBNISSE

Die wichtigsten Ergebnisse sind:

- Die Wirkung der Kommunikation von Unsicherheiten bezüglich der Risikoabschätzung von elektromagnetischen Feldern ist bislang wenig bekannt; außerdem ist die vorhandene Evidenz widersprüchlich.
- Erfahrungswissen von Experten und Ergebnisse evidenzbasierter Forschung zur Risikokommunikation stimmen nicht überein.
- Die befragten Experten befürworten mehrheitlich, Unsicherheiten zu kommunizieren. Sie gehen davon aus, dass dadurch die Glaubwürdigkeit des Senders und das Vertrauen in seine Aussagen gestärkt werden, die für die Akzeptanz von Informationen wesentlich sind.
- Die experimentellen Ergebnisse verweisen darauf, dass es bei der Information und Kommunikation über Unsicherheiten darauf ankommt, welche Art von Unsicherheit thematisiert wird. Diesbezügliche Effekte unterscheiden sich je nachdem, ob es um
 - die Existenz eines Risikos,
 - die Größe des Risikos oder
 - den Risikoschutz geht.

Die wesentlichen Ergebnisse der Experimente zu den Effekten der Information über Unsicherheit sind:

5.1 ZUR WIRKUNG VON INFORMATIONEN ÜBER UNSICHERHEIT

- Informationen über Unsicherheiten bezüglich der Existenz von Risiken werden als Kompetenzmängel der Risikoabschätzer fehlattribuiert.
- Informationen über Unsicherheiten bezüglich der Höhe von Risiken haben keine Effekte.

- Informationen bezüglich der Unsicherheit des Risikoschutzes reduzieren die Textverständlichkeit und steigern tendenziell Ängste.

5.2 ZUR WIRKUNG VON ERKLÄRUNGEN

- Erklärungen der Unsicherheit bezüglich der Existenz eines Risikos reduzieren die wahrgenommene Eindeutigkeit der Information.
- Erklärungen zur Unsicherheit bezüglich des Risikoschutzes verringern die Textverständlichkeit.

5.3 INTERAKTION VON ERKLÄRUNGEN UND INFORMATIONEN ÜBER UNSICHERHEITEN

- Werden Unsicherheiten bezüglich der Existenz von Risiken erklärt, so hat das einen Angst reduzierenden Effekt.

Die inkonsistenten Befunde der Befragungen und der experimentellen Forschung lassen sich mit Hilfe der Elaboration Likelihood Theorie von Petty und Cacioppo (1986) integrieren.

Danach gehen die befragten Experten von dem Idealbild des „informierten Bürgers“ aus, der motiviert und fähig ist, Informationen über Unsicherheiten der Risikoabschätzung angemessen zu verarbeiten. Im Modell von Petty und Cacioppo würde somit ein zentraler Pfad der Informationsverarbeitung (d. h. eine intensive kognitive Auseinandersetzung mit den dargebotenen Informationen) gewählt. Die experimentellen Befunde weisen dagegen darauf hin, dass die Informationsverarbeitung über den peripheren Pfad erfolgt, d. h. Motivation und kognitiver Aufwand sind begrenzt. Anders formuliert: motivierte und in Sachen Risiko kenntnisreiche Bürger können über den zentralen Pfad erreicht werden. Wenig motivierte Bürger und solche ohne Vorwissen sind nur über den peripheren Pfad der Informationsverarbeitung ansprechbar.

5.4 EMPFEHLUNGEN

Die Kommunikation über Unsicherheiten sollte nach den Prinzipien rationaler Kommunikation erfolgen, d. h. in einem vernünftigen Diskurs, der die Prinzipien der Fairness, Offenheit und Kompetenz umsetzt.

Die folgenden Bedingungen sind dabei zentral:

- Kommunikation über Unsicherheiten hat die beiden verschiedenen Pfade der Informationsverarbeitung - zentral und peripher - zu berücksichtigen, denn je nach Pfad können die gleichen Merkmale der Unsicherheitskommunikation unterschiedliche Wirkungen entfalten.
- Insgesamt kommt es bei der Risikokommunikation darauf an, die Adressaten, die nur über den peripheren Pfad der Informationsverarbeitung zu erreichen sind, stärker zu berücksichtigen.
- Weiterhin ist darauf zu achten, welche Unsicherheiten kommuniziert werden sollen, die bezüglich der Existenz des Risikos, der Höhe des Risikos oder der Angemessenheit des Risikoschutzes (Unsicherheitskategorien).
- Für den zentralen Pfad der Informationsverarbeitung gilt, dass bei der Kommunikation von Unsicherheit auch Informationen gegeben werden sollten, wie groß die Unsicherheiten sind, warum Unsicherheiten existieren und wieso Informationen über Unsicherheiten wesentlich sind. Darüber hinaus sind Unsicherheiten in Bezug zu den Sicherheiten (Was weiß man?) zu setzen, um so eine informierte Beurteilung zu ermöglichen.
- Für den peripheren Pfad der Informationsverarbeitung gilt: Was kompliziert erscheint, wird eher als riskant und eher als falsch eingeschätzt; was einfach erscheint, wird als weniger riskant und eher als wahr angesehen. Kommunikation über Unsicherheiten ist hier riskant. Wenn sie erfolgt, so ist sie mit Informationen zu koppeln, die die Wahrnehmung von Kompetenz der Risikobewerter stärken.
- Eine wesentliche Voraussetzung für das Gelingen von Kommunikation über Unsicherheiten ist noch zu entwickeln. Dabei geht es um ein Klassifikationsschema für die Bewertung des Ausmaßes von Unsicherheit, das sowohl inhaltlich als auch kommunikativ geeignet ist, Unsicherheitsinformationen adäquat zu vermitteln.
- Schließlich ist die Evaluationsforschung zu stärken: Da es bislang keine Modelle gibt, die eine genaue Voraussage erlauben, welche Texte welche Wirkungen bei welcher Art der Informationsverarbeitung haben, sind Texte über Unsicherheiten von Risikoabschätzungen immer zu testen, um unerwünschte Nebenwirkungen zu erkennen und zu vermeiden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Bei allen Unsicherheitsbezügen (Risikoidentifikation, Risikohöhe, Risikomanagement) kommt es wesentlich darauf an, wissenschaftliche Informationen angemessen zu vereinfachen. Es geht um das richtige Maß an Informationen: Sowohl zu viele als auch zu wenige Informationen lösen Unverständnis aus. Wichtige Bewertungsfaktoren für Texte der Risikokommunikation und insbesondere der Kommunikation von Unsicherheiten sind:

- Verständlichkeit,
- Relevanz und
- Eindeutigkeit.

Der Forschungsnehmer empfiehlt einen kaskadischen Informationsaufbau in drei Ebenen:

Die erste Ebene wendet sich an den motivierten Bürger ohne Vorwissen, der sich auf dem peripheren Weg informiert und der knappe Kernbotschaften, Bilder, einfache Grafiken oder Videos bevorzugt. Bilder und Videos, die Botschaften vermitteln, haben einen erheblich größeren Erfolg bei der Informationsvermittlung als viele geschriebene Worte.

Die zweite Ebene wendet sich an den motivierten und in Sachen Risiko informierten Bürger, der den zentralen Weg der Informationsaufnahme beschreitet. In dieser Ebene werden detaillierte Risikoinformationen einschließlich Unsicherheitscharakterisierungen und Hintergrundwissen angeboten.

Die dritte Ebene wendet sich an Experten, die mit Originalstudien und relevanten Informationen umzugehen wissen.

Unter dem Blickwinkel der Verständlichkeit für den peripheren Weg der Informationsverarbeitung (s. o.) betrachtet, sind die Informationen auf den BfS-Seiten zu kompliziert aufgebaut. Es ist davon auszugehen, dass Besucher der Internetseiten, die mit wenig Vorwissen und nicht allzu ausgeprägter Motivation für kognitiven Aufwand an die Lektüre herangehen, eher überfordert sind wegen der Fülle der dargebotenen Informationen. Das Vorhaben zeigt, dass die Möglichkeit, sich zwischen wahlweise einfachen Informationen bis hin zu wissenschaftlichen Einzelerkenntnissen zu entscheiden, den unterschiedlich gearteten Informationsverarbeitungen stärker Rechnung tragen würde. Es ist möglich und empfehlenswert, die BfS-Internetseite dahingehend umzugestalten.

Zudem wäre es von großem Nutzen, den Prozess der Risikoabschätzung und der Risikobewertung einschließlich der damit verbundenen Unsicherheiten dem interessierten Besucher der BfS-Internetseite mehr zu verdeutlichen, indem man diesbezügliches leicht verständliches Informationsmaterial auf der BfS-Internetseite anbietet.

Thema Weiterentwicklung der EMF-Literaturdatenbank			
Subject <i>Advancement of the EMF literature database</i>			
Kennzeichen 3607S04527	Beginn 01.06.2007	Ende 31.05.2010	Fördermittel EUR 322.557,-
Forschungs- / Auftragnehmer Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu), RWTH Aachen			
Projektleitung Prof. Dr. J. Silny	Fachbetreuung BfS Dr. A. Dehos / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text R. Wienert	

1. ZIELSETZUNG

Das Thema „Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit“ ist nach wie vor von großem öffentlichem Interesse. Zum einen werden laufend neue Technologien, die mit der Emission elektromagnetischer Felder (EMF) einhergehen, eingeführt, zum anderen werden gesundheitliche Gefahren dieser Felder in der Bevölkerung für möglich gehalten.

Auf Grund der sehr speziellen Veröffentlichungsform können wissenschaftliche Publikationen zum Thema „Gesundheitliche Wirkungen elektromagnetischer Felder“ von der Öffentlichkeit nur eingeschränkt als Grundlage für die Diskussion über die gesundheitsrelevanten Wirkungen der Felder herangezogen werden. Die interdisziplinären Inhalte mit englischer medizinisch/technischer Fachterminologie bereiten jedem Nicht-Experten Schwierigkeiten; die meisten Publikationen sind darüber hinaus ausschließlich in schwer zugänglichen, teuer zu erwerbenden Zeitschriften veröffentlicht. Um einen Einblick in die Ergebnisse der aktuellen Forschung zum Thema der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit zu erhalten, ist eine umfassende und zeitnahe Aufbereitung aller relevanten, zum Thema erschienenen Studien erforderlich.

Das EMF-Portal wurde mit der Zielsetzung entwickelt, diese Probleme bei der Erhebung und Vermittlung der Informationen zu überwinden: Es wurde ein neuartiges Informationssystem geschaffen und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt, das jedem Interessierten nicht nur einen verständlichen Einstieg in das Thema „Elektromagnetische Felder und ihre gesundheitlichen Wirkungen“ auf wissenschaftlicher Grundlage bietet, sondern darüber hinaus auch einen umfassenden Einblick in die weltweit publizierten Forschungsergebnisse ermöglicht.

Dazu werden im EMF-Portal wissenschaftliche Studien über den Einfluss nieder- und hochfrequenter Felder auf den Organismus gesammelt, die wichtigsten Inhalte werden extrahiert und zusammengefasst. Bislang sind mehr als 14.200 Publikationen erfasst und über 3.000 Zusammenfassungen, vorrangig experimenteller medizinisch/biologischer und epidemiologischer Studien, erstellt worden.

Diese Zusammenfassungen (sog. Extraktionen oder Basisdaten) spiegeln die wesentlichen Inhalte der publizierten Forschungsergebnisse wider und verschaffen dem Leser einen schnellen Überblick über die Ergebnisse der Studie. Die Struktur der Basisdaten ist für alle extrahierten Artikel ähnlich, was einer schnellen Orientierung und einer besseren Vergleichbarkeit dient.

Das EMF-Portal steht kostenlos in deutscher und englischer Sprache zur Verfügung unter www.emf-portal.de. Online verfügbar ist das System seit 5 Jahren, in deren Verlauf eine Vielzahl von Informationsangeboten hinzugekommen ist oder weiterentwickelt wurde. Diese Dokumentation beschreibt die Projekte, die mit der Förderung des Bundesamts für Strahlenschutz in den letzten drei Jahren zur Weiterentwicklung des EMF-Portals umgesetzt wurden.

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens war die Weiterentwicklung des EMF-Portals auf Grundlage der gesammelten Erfahrungen beim Betrieb des Informationssystems und auf der Grundlage des Feedbacks seitens der Datenbanknutzer wie auch der seitens des Auftragsgebers geäußerten Erweiterungswünsche.

Um dieses Gesamtziel zu erreichen, wurden folgende Einzelzielsetzungen definiert:

- Ergänzung des EMF-Portals mit weiteren Strukturen und Aufnahme neuer Publikationsgattungen, um die komplette Breite der Literatur im Bereich elektromagnetischer Umweltverträglichkeit zu präsentieren;

- Validierung dieser neuen Strukturen durch Extraktion repräsentativer Publikationen zum jeweiligen Thema;
- Erstellung spezifischer Zusammenfassungen zu ausgewählten Themen;
- Optimierung der Nutzerfreundlichkeit des gesamten Informationssystems durch Erweiterung des Glossars, Neuprogrammierung der Suche und Verbesserung des Angebots „Datenbank der im Alltag auftretenden Feldquellen“.

Bei der Neuerstellung sowie der Verbesserung der bereits bestehenden Informationsangebote sollten die Bedürfnisse und Wünsche verschiedener Nutzergruppen (z. B. interessierte Bürger, Entscheidungsträger, Wissenschaftler verschiedener Disziplinen) berücksichtigt werden mit dem Ziel, die Nutzung und Akzeptanz des EMF-Portals weiter zu steigern.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 PRÄSENTATION ZUSÄTZLICHER THEMENGEBIETE

Zusätzlich zu den bereits existierenden Basisdaten der „experimentellen medizinisch/biologischen Publikationen“ und „epidemiologischen Publikationen“ zur Wirkung elektromagnetischer Felder sollten folgende Themenbereiche erschlossen werden: „Berichte, Empfehlungen und Richtlinien nationaler und internationaler Expertengremien und Behörden“, „Publikationen zur Risikokommunikation und Risikowahrnehmung im Bereich elektromagnetischer Felder“ und „Studien zur Störbeeinflussung von Implantaten“.

2.2 THEMENSPEZIFISCHE ZUSAMMENFASSUNGEN

Ziel dieses Teilprojektes war es, eine übergeordnete Struktur für die experimentellen und epidemiologischen Mobilfunk-relevanten Arbeiten zu schaffen und zu übergeordneten Themenbereichen kurze informative Zusammenfassungen (z. B. Mobilfunk und Krebs) zu verfassen.

2.3 DATENBANK DER IM ALLTAG AUFTRETENDEN FELDQUELLEN

Die bisher im EMF-Portal existierende Datenbank der im Alltag auftretenden Feldquellen war durch die rasante Entwicklung der Technik überholt, da sie im HF (Hochfrequenz)-Bereich weder die komplexe Zuordnung bestimmter Feldquellen zu mehreren Frequenzen (z. B. Mobilfunk) noch die alte Zuordnung einer bestimmten Frequenz zu mehreren Anwendungen (z. B. 2,45 GHz - RFID (Radio Frequency Identification), WLAN (Wireless Local Area Network)) berücksichtigte. Zudem konnten zukünftige Technologien, die sich noch in der Entwicklungsphase befinden, in der Feldquellendatenbank nicht berücksichtigt werden.

Um auch dem fachfremden Nutzer die Einordnung der Inhalte zu ermöglichen, sollten die recherchierten Messwerte den gesetzlichen Grenzwerten gegenüber gestellt und Glossar-Einträge um neue technische Begriffe ergänzt werden.

2.4 SUCHMÖGLICHKEITEN

Zu Beginn der Entwicklung des EMF-Portals wurden nur medizinisch/biologische Studien inhaltlich berücksichtigt, indem sie extrahiert und in die Datenbank eingetragen wurden. Aus diesem Grunde konnten innerhalb der ursprünglichen Suche im EMF-Portal nur diese medizinisch/biologischen Inhalte sowie die bibliografischen Angaben berücksichtigt werden. Die dezidierte Suche nach Inhalten anderer, auch im Rahmen des hier beschriebenen Projekts entwickelter und veröffentlichter Themenkomplexe (Epidemiologie, Internationale Richtlinien, Wirkungen auf Implantate, Arbeiten zur Risikokommunikation/Risikowahrnehmung und Reviews/Surveys) war nicht möglich.

Die mittlerweile mehrjährige Erfahrung der vorhandenen Suchimplementierung hat zudem einen Optimierungsbedarf der Suchalgorithmen gezeigt. Ziel sollte daher die Neuentwicklung und Zusammenführung der beiden alten Suchmöglichkeiten unter Berücksichtigung der gewonnenen Erfahrungen sein, so dass die Suche für den Nutzer einfacher und die Suchresultate erheblich genauer werden.

2.5 GLOSSAR

Als Erklärungswörterbuch für Fachbegriffe aus dem Gebiet der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit ist das Glossar ein wichtiger Bestandteil des EMF-Portals, der das Verständnis komplexer wissenschaftlicher Begriffe auch für den Nicht-Fachkundigen zu vermitteln hilft.

Fachbegriffe, die für das Verständnis der neu erarbeiteten Themenbereiche (Implantate, Risikokommunikation, Empfehlungen, Feldquellen) wichtig sind, wurden in das bestehende Glossar aufgenommen und in deutscher und englischer Sprache erklärt.

3. METHODIK

Es wurden folgende Methoden verwendet:

3.1 PRÄSENTATION ZUSÄTZLICHER THEMENGEBIETE

- Entwicklung der Datenmodelle für die Aufnahme der Publikationsinhalte anhand der Struktur repräsentativ ausgewählter Veröffentlichungen im Themengebiet;
- Programmierung der daraus resultierenden Datenbankstrukturen;
- Erstellung von Programmen zur Datenein- und ausgabe, Evaluation der entstandenen Strukturen durch Extraktion repräsentativer Arbeiten.

3.2 THEMENSPEZIFISCHE ZUSAMMENFASSUNGEN

- Untersuchung und Kategorisierung der relevanten Artikel auf ihre Endpunkte bzw. Untersuchungsschwerpunkte hin;
- Erstellung von Kreisdiagrammen, die dem Nutzer die neu kategorisierten Artikel thematisch geordnet zugänglich machen.

3.3 DATENBANK DER IM ALLTAG AUFTRETENDEN FELDQUELLEN

- Entwicklung eines Software-Tools zur Eingabe und Speicherung der relevanten Feldquellendaten und einer nutzerfreundlichen Internetausgabe;
- Erstellung eines Programms für die Berechnung der entsprechenden Grenzwerte.

3.4 SUCHMÖGLICHKEITEN

- Entwicklung eines Volltextindex, der automatisch von den Extraktionsinhalten der Publikationen erstellt und gepflegt wird;
- Programmierung der Internetschnittstelle unter Berücksichtigung von Web 2.0-Techniken.

3.5 GLOSSAR

- Bedarfsermittlung noch fehlender Einträge mit Hilfe des internen und externen Qualitätssicherungssystems;
- Aufnahme relevanter neuer Einträge.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PRÄSENTATION ZUSÄTZLICHER THEMENGEBIETE

Eine Recherche, Sammlung und gesonderte Archivierung von Publikationen der neuen Themengebiete wurde durchgeführt. Die wesentlichen Deskriptoren wurden ermittelt, aufgenommen und eine direkte Verlinkung (wenn möglich) zur Originalquelle angeboten. Nach der anschließenden Entwicklung einer eigenen Datenbankstruktur sowie einer spezifischen Ein- und Ausgabemöglichkeit für solche Arbeiten wurden die Strukturen anhand einer repräsentativen Auswahl von Studien evaluiert und optimiert.

Bei der Auswertung der Artikel zur Störbeeinflussung von Implantaten wurden zudem zusätzliche Aspekte (Art des Implantats, Feldbeschreibung, Störarten und -schwellen etc.) berücksichtigt. Für die Extraktion wurden drei Arten von Studien (Benchmarkstudien¹⁾, Modellstudien²⁾ und Patientenstudien) unterschieden.

¹⁾ Test der Störanfälligkeit verschiedener Aggregate durch direkte Einspeisung eines simulierten iEKGs (intrakardiales Elektrokardiogramm) oder verschiedener Signalformen

²⁾ Studien, die mit Probanden ohne Implantate, im Trog-Modell oder theoretisch (analytisch und numerisch) durchgeführt werden

4.2 THEMENSPEZIFISCHE ZUSAMMENFASSUNGEN

In einem ersten Schritt wurden alle Mobilfunk-relevanten experimentellen medizinisch/biologischen Artikel auf ihre Endpunkte bzw. Untersuchungsschwerpunkte hin untersucht. Nach Sichtung aller bereits extrahierten Publikationen im Mobilfunk-Bereich zeichnete sich eine Konzentration auf folgende Schwerpunkte und entsprechende Endpunkte ab:

- Wirkungen auf Zellen (Zellproliferation/-wachstum, Zellzyklus, Apoptose, Zellmorphologie);
- Wirkungen auf Zellfunktionen (allgemeine Zellfunktionen, Enzymaktivität, (intrazelluläre) Calcium-Konzentration);
- Wirkungen auf DNA (Desoxyribonukleinsäure) (Genotoxizität, Gen-/Protein-Expression, oxidative Stress-Reaktion);
- Wirkungen auf das Gehirn: (Blut-Hirn-Schranke, Kognition, Schlaf, EEG (Elektroenzephalogramm));
- Wirkungen auf die Gesundheit (Krebs, Hypersensibilität/subjektive Beschwerden, Wirkungen auf Hoden/Spermien und Fertilität, endokrine Veränderungen, Herzfrequenz/Blutdruck, Thermoregulation, sonstiges).

In einem zweiten Schritt wurden alle experimentellen medizinisch/biologischen Mobilfunk-relevanten Artikel nach diesen erweiterten Endpunkten kategorisiert. Schließlich wurde mit Hilfe von Kreisdiagrammen ein Überblick geschaffen, der dem Nutzer die neu kategorisierten Artikel thematisch geordnet zugänglich macht.

Die gleiche Methodik wurde angewandt, um auch die epidemiologischen Studien zum Thema Mobilfunk mit interaktiven Graphiken zur Verfügung zu stellen.

4.3 DATENBANK DER IM ALLTAG AUFTRETENDEN FELDQUELLEN

Die Entwicklung einer hierarchischen Struktur in der Datenbank erlaubt die Verknüpfung und Verlinkung der Feldquellen untereinander. Für diese Struktur wurde ein Software-Tool zur Eingabe und Speicherung der relevanten Feldquellendaten entwickelt. Es folgten umfangreiche Recherchen zu den Feldquellen und ihren Parametern, die mit Hilfe des neu entwickelten Tools der Datenbank hinzugefügt wurden. Schließlich wurde eine nutzerfreundliche Internetausgabe entwickelt. Ein Programm, das für die jeweilige Frequenz die entsprechenden Grenzwerte sowohl für die Allgemeinheit als auch für Personen im beruflichen Umfeld und auch speziell für Implantatträger/innen berechnet, wurde erstellt. Nun können bei der Ausgabe die Messwerte der Emissionsgrößen den Grenzwerten gegenüber gestellt werden. So soll auch dem Laien ermöglicht werden, Messwerte in Bezug auf ihre Wirkung einzuordnen. Darüber hinaus wurde eine Vielzahl von Glossareinträgen erstellt, die die neueren Techniken allgemeinverständlich erklären.

4.4 SUCHMÖGLICHKEITEN

Zunächst wurde spezifiziert, nach welchen Deskriptoren vorrangig gesucht werden soll. Um dem Fortschritt der Volltext-Indizierung Rechnung zu tragen, wurde in der neuen Suche nicht mehr in jedem dezidierten Tabellenfeld gesucht, sondern es wurde ein Volltextindex erstellt, der automatisch von den Extraktionsinhalten der Publikationen erstellt und gepflegt wird. Gleichzeitig wurde es mit dem Index möglich, die Suche auf bestimmte, übergeordnete Inhalte einzuschränken (z. B. Eingrenzung der Suche ausschließlich auf Inhalte aus dem „Ziel der Studie epidemiologischer Arbeiten“).

Dazu wurde ein entsprechender Index-Algorithmus erstellt. Bei Änderungen am Datenbestand wird er automatisch auf den neuesten Stand gebracht und einmal pro Woche völlig erneuert. Gleichzeitig ist das Verfahren zur Indexerstellung offen implementiert, so dass bei der Aufnahme neuer Inhalte diese auch sofort in den Index aufgenommen werden.

Im nächsten Schritt wurde eine Internetschnittstelle für die Suche erstellt. Mit Hilfe von Web 2.0-Techniken (Ajax, JavaScript) kann der Nutzer bereits während der Erstellung seiner Suchabfragen die Begriffe auf ihre Plausibilität überprüfen; in das Feld „Autoren“ können z. B. nur Autoren eingegeben werden, die auch tatsächlich in der Datenbank vorkommen - der Nutzer beginnt mit der Eingabe und erhält nach den ersten drei Buchstaben eine Liste mit in Frage kommenden Autoren.

Zusätzlich zu den herkömmlichen Suchmöglichkeiten (Autor, Zeitschrift, Jahr, Keywords) kann der Nutzer die Suche mit verschiedenen weiteren Parametern eingrenzen. Implementiert sind derzeit Einschränkungen nach Frequenzbereich und Themengruppe, mit denen die Suche zunächst getestet werden soll. Da die Suche modular aufgebaut ist, können auf einfache Weise beliebige zusätzliche Suchparameter integriert werden.

4.5 GLOSSAR

Die im Verlauf der Extraktion notierten und bisher noch nicht im Glossar enthaltenden Fachausdrücke wurden zunächst in Fachbüchern, Fachlexika und im Internet in deutscher und englischer Sprache recherchiert, wobei besonders auch auf unterschiedliche Bedeutungen in den beiden Sprachen geachtet wurde (Beispiel: physical im Englischen bedeutet sowohl zur Physik gehörend als auch körperlich, während physikalisch sich nur auf die Physik bezieht). Des Weiteren wurden alle Benennungen (Synonyme) eines Begriffs (z. B. Hippocampus und Ammonshorn) gesammelt, um bei einem Suchdurchlauf alle relevanten Publikationen zu finden. Nur die im EMF-Portal am häufigsten vorkommenden Abkürzungen und Akronyme wurden aufgenommen, da sie je nach Fachrichtung unterschiedliche Bedeutungen haben können. Um insbesondere fachfremden Nutzern die Texte so verständlich wie möglich zu machen, werden Abkürzungen und Akronyme im EMF-Portal möglichst ausgespart.

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse aller hier beschriebenen Weiterentwicklungen stehen, falls im Text nicht anders erwähnt, bereits unter www.emf-portal.de für die Öffentlichkeit frei zur Verfügung.

Es folgt eine Aufstellung der Ergebnisse der Einzelprojekte.

5.1 PRÄSENTATION ZUSÄTZLICHER THEMENGEBIETE³⁾

5.1.1 Themengruppe Darstellung von Berichten, Empfehlungen und Richtlinien nationaler und internationaler Expertengremien und Behörden (IRG)

Bisher wurden 88 Publikationen zum Thema archiviert und mit dem erarbeiteten Eingabetool extrahiert. Die überwiegende Anzahl der IRGs (Beginn der Aufnahme: 1981) stammt aus den letzten zehn Jahren. Betrachtet man die Länderverteilung, so fällt ca. ein Drittel (31%) auf Deutschland, 11% auf die Niederlande, 6% auf Großbritannien, 17% auf andere EU-Länder und ein weiteres Drittel (35%) auf den restlichen internationalen Bereich.

5.1.2 Themengruppe Darstellung der Arbeiten zur Risikokommunikation und Risikowahrnehmung im Bereich elektromagnetischer Felder (RIS)

Die im Profil Risikokommunikation, Risikowahrnehmung bislang gesammelten 61 Artikel wurden nach dem entwickelten Eingabetool mit bestimmten Stichpunkten auf Deutsch und Englisch extrahiert und für den Nutzer freigeschaltet.

5.1.3 Darstellung der Studien zu Implantaten

Aus den über 190 vorhandenen Artikeln wurden 50 repräsentative Artikel extrahiert und das bestehende System einer Qualitätskontrolle unterworfen. Es wurde untersucht, ob die im Vorfeld aufgestellte Struktur bei der realen Extraktion sinnvoll eingehalten werden kann, welche Parameter zusätzlich extrahiert werden sollen und wie die Extraktion vereinfacht werden kann.

Vor einer Veröffentlichung muss noch geprüft werden, welche der vorhandenen Daten der Öffentlichkeit präsentiert werden können, da auch herstellereinspezifische Inhalte aufgenommen wurden.

5.2 THEMENSPEZIFISCHE ZUSAMMENFASSUNGEN⁴⁾

Derzeit liegen 639 extrahierte, d. h. zusammengefasste experimentelle medizinisch/biologische Studien im Mobilfunkbereich vor, die in der neu entwickelten Kategorisierungsstruktur berücksichtigt wurden.

Das „Einstiegs“-Diagramm (siehe Fußnoten) vereinigt die Obergruppen „Zellen“, „Zellfunktionen“, „DNA“, „Gehirn“ und „Gesundheit“. Nach Auswahl (Anklicken) eines Segments erscheint ein weiteres Diagramm mit den entsprechenden zugehörigen Endpunkten. Für jeden der 29 Endpunkte sind nach Auswählen des gewünschten Endpunktes die zugehörigen Artikel zugänglich; diese erscheinen als Liste mit allen thematisch passenden Studien.

³⁾ Die jeweiligen Themengebiete sind unter http://emf-portal.de/db_status.php?l=g&sform=6 zu finden

⁴⁾ Die interaktiven Grafiken der experimentellen Arbeiten können unter http://emf-portal.de/overview_mb.php?l=g und die der epidemiologischen Arbeiten unter http://emf-portal.de/overview_epi.php?l=g eingesehen werden. Auf Grund einer nur begrenzt möglichen Seitenzahl des Berichts wird hier auf Screenshots verzichtet

Darüber hinaus wird dem Nutzer zu jedem Endpunkt eine Übersichtstabelle (Auswahl über „Tabelle mit weiteren Details“) mit allen wichtigen Parametern der jeweiligen Artikel angeboten (bibliographische Daten, Endpunkt, Frequenz, Expositionsdauer und zusätzliche Expositionsparameter). Als zusätzliches Hilfsmittel und zur besseren Vergleichbarkeit einzelner Studien kann die Tabelle beliebig sortiert werden, d. h. nach Klicken auf die Spaltenüberschrift (Erscheinungsjahr, Endpunkt, Frequenz, Expositionsdauer und zusätzliche Expositionsparameter) ordnen sich die entsprechenden Werte der einzelnen Spalten auf- oder absteigend (z. B. alphabetisch nach Erstautor oder chronologisch nach Erscheinungsjahr).

Im epidemiologischen Bereich liegen insgesamt 124 extrahierte Studien im Mobilfunkbereich vor, die in interaktiven Grafiken aufbereitet sind. Sie sind in folgende medizinische Endpunkte aufgeteilt: „Hirntumor“, „Leukämie/Lymphom“, „Andere Krebsarten (z. B. Mammakarzinom, Uveal-Melanom)“, „Elektrosensibilität/Gesundheit/subjektive Beschwerden“ und „Sonstiges (z. B. Mortalität, Herz-Kreislauf-Erkrankungen)“.

Einen raschen Überblick ermöglicht die Tabelle mit den wichtigsten Parametern zum Inhalt der epidemiologischen Studien. Die Sortierung erfolgt nach dem Erscheinungsjahr; sie kann jedoch nach jedem der Parameter erfolgen, indem der Nutzer einfach auf die Überschrift der entsprechenden Spalte klickt.

5.3 DATENBANK DER IM ALLTAG AUFTRETENDEN FELDQUELLEN

Als Startseite dieser Datenbank wurde eine mehrteilige Suche entwickelt, bei der einerseits über die Frequenz und andererseits über den Geräte- bzw. Dienstenamen gesucht werden kann.

Über einen Regler kann die gewünschte Frequenz ausgewählt werden. Auf dem Bildschirm erscheint eine Baumstruktur aller zu dieser Frequenz gehörenden Geräte und Dienste. Ein Klick auf den Namen führt auf eine Seite mit ausführlichen Informationen zu diesem Gerät oder Dienst. Durch Eingabe des Namens eines Gerätes oder Dienstes wird die entsprechende Informationsseite aufgerufen.

Sowohl im Niederfrequenz- als auch im Hochfrequenz-Bereich werden den Messwerten der Emissionsgrößen die entsprechenden Grenzwerte sowohl für die Allgemeinheit, als auch im beruflichen Umfeld und für Implantatträger gegenüber gestellt.

5.4 SUCHMÖGLICHKEITEN ⁵⁾

Im Gegensatz zu herkömmlichen Literaturdatenbanken werden im EMF-Portal nicht nur die bibliografischen Angaben zur Suche indiziert, sondern auch die selbst erstellten Inhalte (Zusammenfassungen, Frequenzbereiche, Glossar etc.). Dies ermöglicht zum einen eine wesentlich genauere Einschränkung der Suchparameter, zum anderen kann der Nutzer auch mittels deutscher Begriffe in den vorwiegend englischsprachigen Publikationen suchen.

Zusätzlich zu den Suchmöglichkeiten nach bibliografischen Literaturangaben (Autor, Zeitschrift, Jahr, Keywords) kann der Nutzer die Suche daher mit Hilfe verschiedener weiterer Parameter eingrenzen. Implementiert sind derzeit weitere Einschränkungen nach Frequenzbereich, Themengruppen und Zeitraum der Aufnahme im EMF-Portal. Da die Suche modular aufgebaut ist, können auf einfache Weise beliebige zusätzliche Suchparameter integriert werden, falls sich dies in Zukunft als erforderlich erweisen sollte.

Zudem kann die Suche nun direkt bei der Eingabe der Suchbegriffe Hilfestellungen geben, d. h. z. B. in der Datenbank aufgenommene Autoren nach der Eingabe der ersten drei Buchstaben vorschlagen. So können beispielsweise vom Nutzer auch Autoren gefunden werden, deren genaue Schreibweise nicht bekannt ist.

5.5 GLOSSAR

Das Glossar bestand Ende Mai 2010 aus rund 2.770 Einträgen, jeweils in Deutsch und Englisch, davon rund 2.210 aus dem medizinisch/biologischen Bereich, 485 aus dem technisch/dosimetrischen Bereich und 85 aus der Epidemiologie. Ergänzend wurden den Haupteinträgen 1.685 Synonyme sowie 375 Abkürzungen und Akronyme neu zugeordnet. In der Liste der Begriffe mit abweichender Schreibweise sind 7.790 Ausdrücke enthalten, davon 6.400 auf Deutsch und 2.180 auf Englisch.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das EMF-Portal steht als umfangreiche Informationsquelle zum Thema elektromagnetische Felder und ihre Wirkungen im Internet frei zur Verfügung. Es soll dazu beitragen, die Diskussion über mögliche gesundheitli-

⁵⁾ www.emf-portal.de/suche.php

che Auswirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder zu versachlichen und die Gründe für die Festlegung von Grenzwerten und Vorsorgemaßnahmen nachvollziehbar zu erklären. Die relativ hohen Zugriffszahlen für das EMF-Portal belegen eine hohe Akzeptanz vor allem bei beruflich mit der Materie befassten Personen.

Mit diesem Vorhaben wurden dem Portal zum einen neue Inhalte hinzu gefügt und zum anderen wurde eine deutliche Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit erreicht. Da aber ständig neue Veröffentlichungen hinzu kommen, ist es zwingend erforderlich, das EMF-Portal weiter zu pflegen, zu verbessern und mit Inhalten zu füllen. Sinnvolle Nutzerwünsche sollten bei der Weiterentwicklung des Portals berücksichtigt werden, wenn sie umsetzbar sind.

Themenbereich 09 Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm

Subject area 09 German Mobile Telecommunication Research Programme

Die folgenden Forschungsvorhaben sind Bestandteil des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms (www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de). Dieses befasste sich mit der Wirkung von Anwendungen nichtionisierender Strahlung auf den Menschen. Das gesamte Programm wurde zu gleichen Teilen vom Bundesumweltministerium und den Betreibern der Mobilfunknetze in Deutschland finanziert und endete in 2008.

The following research projects, which address the effects of non-ionising radiation to man, are part of the German Mobile Telecommunication Research Programme (www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de). The programme was funded equally by the German Environmental Ministry and by operators of the cellular phone network and ended in 2008.

Thema Einfluss von GSM-Signalen auf isoliertes, menschliches Blut. A. Gentoxizität			
Subject <i>Effects of GSM signals on isolated human blood. A. Genotoxicity</i>			
	Beginn 01.01.2006	Ende 31.11.2010	Fördermittel EUR 831.888,-
Forschungs- / Auftragnehmer Fa. Incos Boté, Nieder-Olm			
Projektleitung Dr. P. Waldmann	Fachbetreuung BfS Dr. M. Asmuß / AG-SG 1.4		verantwortlich für den Text Dr. P. Waldmann, Dr. M. Asmuß

1. ZIELSETZUNG

Aufgabe des Vorhabens war es, mögliche DNA (Desoxyribonukleinsäure)- oder Chromosomen-schädigende Wirkungen der für Mobilfunksysteme genutzten hochfrequenten elektromagnetischen Felder im Rahmen einer multizentrischen Studie zu untersuchen. Als Endpunkte wurden strukturelle Chromosomenaberrationen, Mikrokerne, Schwesterchromatidaustausche sowie im Comet Assay Einzel- und Doppelstrangbrüche bzw. alkalilabile Stellen untersucht. Hierdurch wurde das mögliche gentoxische Schadensspektrum erstmals in einer Studie umfassend mit adäquater statistischer Aussagekraft abgedeckt. Blutproben von erwachsenen und jugendlichen Spendern wurden mit gepulsten GSM (Global System for Mobile Communications)-1.800 Mobilfunksignalen befeldet und mögliche Effekte in peripheren Lymphozyten untersucht. Um auch empfindlichere Zellzyklusphasen zu erfassen, war die Exposition an mitogen stimulierten Zellen durchzuführen. Die experimentellen Randbedingungen sollten grundsätzlich im Einklang mit der Empfehlung von COST (European Cooperation in Science and Technology) Action 281 stehen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Untersucht wurde Vollblut gesunder männlicher Probanden, sämtlich Nichtraucher. Die Exposition des Vollbluts erfolgte mit einem 1.800 MHz GSM-Signal (intermittierend 5 min an, 10 min aus) mit SAR (spezifische Absorptionsrate)-Werten von 0 (Scheinexposition), 0,2, 2, 10 W/kg. Geeignete Positivkontrollen wurden mitgeführt.

Untersuchte Endpunkte:

- strukturelle Chromosomenaberrationen (CA);
- Mikrokerne (MN);
- Schwesterchromatidaustausche (SCE);
- Einzel- und Doppelstrangbrüche bzw. alkalilabile Stellen (COMET).

Die Exposition findet zentral in einem Labor statt, die Auswertung codierter, stabiler Präparate parallel in 3 einschlägigen Prüflabors.

2.1 STRUKTURELLE CHROMOSOMENABERRATIONEN

Strukturelle Chromosomenaberrationen sollten nachgewiesen werden. Unter strukturellen Chromosomenaberrationen versteht man Veränderungen der Chromosomenstruktur, die lichtmikroskopisch erkennbar sind. Man unterscheidet:

- Gap („Lücke“): Ungefärbter Abschnitt auf einem Chromatidarm oder homolog auf beiden Chromatidenarmen. Der Abschnitt darf nicht länger sein als eine Chromatide breit ist;
- Bruch: Dissoziiertes, abgebrochenes Chromatid- oder Chromosomenstück;
- Deletion: Verlust eines Chromosomenstückes;
- Dizentrisches Chromosom: Chromosom mit zwei Zentromeren;
- Ringchromosom: Vereinigung des Chromosoms an seinen Telomeren zu einem Ring;
- Austauschfigur: aus mehreren Chromosomen (Tri-/ Quadriradialfigur).

2.2 MIKROKERNTEST (MIKRONUKLEUSTEST, MNT)

Ziel war der Nachweis der Induktion von Mikrokernen. Durch klastogene oder aneugene Wirkungen einer Noxe wird das Genom geschädigt und es verbleiben Chromosomenbruchstücke oder ganze Chromosomen im Cytoplasma, während die Chromosomen auf die beiden Tochterzellen verteilt werden. Ein im Cytoplasma verbliebenes Chromosomenfragment oder Chromosom wird in der Telophase des Zellzyklus mit einer eigenen Kernmembran umschlossen und als Mikronukleus sichtbar. Da die Entstehung von Mikrokernen eine Zellteilung voraussetzt, müssen Lymphozyten mit einem Mitogen, wie beispielsweise Phytohämagglutinin, stimuliert werden. Eine Modifikation des MNT mit Cytochalasin B, das die Zellteilung, nicht jedoch die Kernteilung verhindert, ermöglicht die gezielte Auswertung von Zellen, die nach der Mutagenexposition genau eine Mitose durchlaufen haben.

2.3 ALKALISCHER COMET-ASSAY

Der alkalische Comet-Assay weist DNA-Strangbrüche nach. Der Comet-Assay oder auch Einzelzellgelelektrophorese (SCGE) genannt, ist eine Methode zum sensitiven Nachweis von Strangbrüchen auf der Ebene einzelner Zellen. In seiner alkalischen Version (pH 13) ermöglicht der Comet-Assay den summarischen Nachweis von Einzel- wie Doppelstrangbrüchen und auch von alkalilabilen Stellen.

2.4 SCHWESTERCHROMATIDAUSTAUSCH (SCE)

Mit dem SCE-Test sollten Austausche zwischen Schwesterchromatiden auf Grund einer erhöhten Reparaturrate in der G2-Phase des Zellzyklus erfasst werden.

3. METHODIK

Auf die Methodik wurde in früheren Berichten eingegangen. Die Exposition der Zellen erfolgte verblindet in einer von IT'IS Zürich für dieses Projekt konzipierten Befeldungsanlage SXC1800XL. Exponiert wurden Blutproben von 20 Probanden. Die Homogenität der Probandengruppe wurde mit Hilfe eines Fragebogens zu Lebensstil, Gesundheit etc. erhöht. Mit allen Blutproben wurden

- Chromosomenaberrations-Test,
- Schwesterchromatidaustausche,
- Mikrokern-Test sowie
- Comet-Assay in der alkalischen Version durchgeführt.

Zur Überprüfung des Testprocedures, der Logistik und der Präparatequalität wurde zu Beginn des Projekts ein Vortest durchgeführt.

Zunächst wurden mit Hilfe von Pre-Tests die Methoden der drei auswertenden Labore überprüft und die Testprotokolle vereinheitlicht.

Die Untersuchungen selbst erfolgten an PHA (Phytohaemagglutinin)-stimulierten peripheren Lymphozyten aus dem Vollblut gesunder männlicher Spender zweier Altersklassen (10 Kinder bzw. Jugendliche <18 Jahre und 10 Erwachsene aus der Altersgruppe 50-60 Jahre), sämtlich Nichtraucher. Die Befeldung der Lymphozyten erfolgte nach GSM-1.800-Standard, SAR 0, 0,2, 2 und 10 W/kg intermittierend 5 min an/10 min aus, letzteres um das von der Wiener Arbeitsgruppe Rüdiger im Rahmen des REFLEX¹⁾-Programmes verwendete Expositionsmuster aufzugreifen. Es wurden jeweils die Proben eines Probanden parallel exponiert, so dass jeder Proband seine eigene Kontrolle darstellt. Die Expositionsdauer betrug 28 h und begann 20 h nach Stimulation der Lymphozyten. Diese Zeiten wurden vorab ermittelt um sicherzustellen, dass sich der Großteil der stimulierten Lymphozyten während der Exposition in Teilung befindet, um auch möglicherweise empfindliche Phasen des Zellzyklus erfassen zu können.

Die Exposition und die Fertigung der stabilen Präparate wurde zentral vom Projektleiter Incos-Boté vorgenommen. Die codierten Präparate wurden an 3 Labore verschickt:

- Labor 1: Hochschule Darmstadt, Fachbereich Chemie-Biotechnologie;
- Labor 2: Dermatologisches Zentrum am Klinikum Buxtehude;
- Labor 3: Harlan Cytotest Cell Research und dort jeweils verblindet ausgewertet. Die statistische Auswertung

¹⁾ Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards From Low Energy Electromagnetic Field Exposure Using Sensitive in vitro Methods

tung der Ergebnisse erfolgte am Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik der Universität Mainz.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 BLUTENTNAHME

Vor jeder Blutentnahme wurde eine Anamnese durch eine Ärztin durchgeführt. Es wurde Blut von 22 Probanden, die den Fragebogen ausgefüllt hatten, entnommen und befeldet. Bei 6 Probanden musste die Blutentnahme wiederholt werden, da die Befeldungsanlage während des Versuchs ausfiel. Bei einem Probanden wurde die Blutentnahme wiederholt, da die Lymphozyten teilweise nur eine geringe Teilungsrate aufwiesen.

4.2 HERSTELLUNG STABILER PRÄPARATE

Es wurden stabile Präparate der 4 cytogenetischen Methoden CA-Test, SCE-Test, Comet-Assay und MN-Test von 22 Probanden aus zwei Altersgruppen hergestellt. Somit wurden von einer größeren Anzahl Probanden als gefordert Präparate hergestellt, um sicherzugehen, dass Präparate von mindestens 10 Probanden je Altersgruppe auswertbar sind. Es erfolgte die Herstellung von Präparaten von 4 Tests für 3 Labors sowie von einigen Ersatzpräparaten.

Verzögerungen des Projektes entstanden des Öfteren durch technische Defekte der Befeldungsanlage. Trotz schneller Service-Leistungen der Fa. ITIS mussten Ausfallzeiten im Februar 2007, September 2007, im Oktober 2007, im Februar 2008 und im März 2008 hingenommen werden. Durch die technischen Defekte bedingt mussten auch einige Versuche wiederholt werden bzw. neue Probanden rekrutiert werden, da nicht alle betroffenen Probanden zu einer erneuten Blutentnahme bereit waren. Manchen Probanden musste drei- bis viermal Blut entnommen werden. Hierdurch konnte das Projekt erst mit erheblicher Verspätung abgeschlossen werden.

4.3 AUSWERTUNG DER PRÄPARATE

Es wurden die Präparate von 20 Probanden vollständig, d. h. alle 4 Tests, durch alle 3 Labore ausgewertet.

5. ERGEBNISSE

In Form eines Ringversuches wurden mögliche DNA-, Chromosomen- und Genom-schädigende Wirkungen der für Mobilfunksysteme genutzten hochfrequenten elektromagnetischen Felder (HF-EMF) an peripheren humanen Lymphozyten untersucht. Dabei wurde das mögliche gentoxische Schadensspektrum mit den Endpunkten strukturelle Chromosomenaberrationen, Schwesterchromatidaustausche, Einzel- und Doppelstrangbrüche sowie alkali-labile Stellen weitgehend abgedeckt. Mit 20 blutspendenden Probanden war der Stichprobenumfang im Vergleich zu anderen Studien mit ähnlichen Zielen groß.

Beim Comet-Assay, im Mikrokerntest und im SCE-Test ergaben sich in keinem der drei Labore signifikante Unterschiede zwischen scheinexponierten und exponierten Proben, auch nicht bei der höchsten Exposition mit 10 W/kg.

Beim Endpunkt Chromosomenaberrationen wurde in einem Labor bei der älteren Probandengruppe eine Erhöhung des Auftretens dizentrischer Chromosomen berichtet. Vor der statistischen Auswertung war festgelegt worden, dass nur Dosistrends ($p=0,05$) von einem oder mehreren Endpunkten, die von mindestens zwei auswertenden Laboren gefunden wurden, den belastbaren Verdacht eines gentoxischen Effekts begründen. Da das Ergebnis eines Labors bei den dizentrischen Chromosomen von den beiden anderen Laboren nicht bestätigt wird, führt es nicht zu einem begründeten Verdacht auf einen Bestrahlungseffekt.

Rein statistisch gesehen, ist die Studie auf Grund des „limitierten“ Stichprobenumfanges nicht geeignet, um sehr selten auftretende Unterschiede bezüglich der individuellen Strahlensensibilität zu erfassen. Die Ergebnisse dieser Studie sind jedoch als belastbare Durchschnittsaussage zu werten. Auch seltene Effekte wären erfasst worden.

5.1 FEHLENDE WERTE UND AUSREISSER

Die Daten wurden zunächst auf fehlende Werte und Ausreißer untersucht. Auf Grund von unterschiedlichen Auswertesystemen wurden beim Comet-Assay fehlende Werte ausgewiesen, da ein System nur das Olive-

Tailmoment und % DNA in Kopf und Schweif berechnet, nicht aber das Tail-Extentmoment, das in anderen Programmen zusätzlich angegeben wird. Bei den für die Untersuchungen erforderlichen Zielvariablen Olive-Tailmoment und % DNA im Kopf gab es jedoch keine fehlenden Werte. Es konnten auch keine Ausreißer festgestellt werden.

Zielvariablen waren:

- SCE: Schwesterchromatidaustausche,
- MN: Anzahl der Mikrokerne in binuklearen Zellen, CBPI (cytokinesis block proliferation index),
- CA: Verschiedene Typen struktureller Chromosomenaberrationen wie Ringe, Chromatidtyp-Aberration, dizentrische Chromosomen (Dic), Extra Azentrische Chromosomen und die Summe der Aberrationen/1.000 Metaphasen,
- Comet-Assay: % DNA im Kopf, Olive-Tailmoment.

5.2 STATISTISCHE AUSWERTUNG

5.2.1 Dosistrendanalyse

Eine erste Trenduntersuchung wurde für alle Zielvariablen vorgenommen. Die Untersuchung der Daten des Comet-Assays erfolgte mit der SAS-Prozedur MIXED. Die Daten der anderen Tests wurden primär mit einem Permutationstest auf Trend getestet.

Comet-Assay, Mikrokernetest und Schwesterchromatidaustausch-Test zeigten bei keinem der 3 Labore einen signifikanten Trend. Beim Chromosomenaberrationstest wiesen die dizentrischen Chromosomen und der Aberrationstyp „Ringe“ in dieser primären Analyse bei jeweils einem Labor einen signifikanten Trend auf (dic: p -wert=0,00024; Ringe p = 0,0415).

Auch nach Korrektur nach Bonferroni war der Trend des einen Labors bei den dizentrischen Chromosomen noch signifikant. Die anderen beiden Labore zeigten keinerlei Trend.

5.2.2 Korrelation zum Alter

Die Korrelation der gemessenen Zielvariablen zum Alter wurde mittels Spearman'scher Korrelationskoeffizienten bestimmt. Die Werte der Positivkontrollen gingen in die Berechnungen nicht ein. Für die 4 Expositionswerte wurden die Einzelwerte der Probanden gemittelt. Eine starke Korrelation konnte bei der Zielvariablen Mikrokerne ermittelt werden ($r = 0,89$). Die Korrelation war bei den älteren Probanden größer als bei den jüngeren. Diese Ergebnisse stimmen mit anderen Studien, die ebenfalls eine mit dem Alter zunehmende Anzahl von Mikrokernen in humanen Lymphozyten finden, überein (Fenech, 1998; Bonassi et al., 2005). Ebenfalls stark aber negativ korreliert ist die Zielvariable Anzahl geschädigter Chromosomen ($r = -0,71$).

5.2.3 Trendscores - Hauptanalyse

Im Rahmen der Hauptanalyse wurde der Dosistrend anhand der Trendscores (Mittelwert, die 95% Konfidenzintervallgrenzen, Irrtumswahrscheinlichkeit p) bei 20 Probanden berechnet. Die Positivkontrollen wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Nur in Labor 3 traten bei den dizentrischen Chromosomen und bei der Chromatidtypaberration ein signifikanter Trend auf ($p \leq 0,05$). Die anderen Labore wiesen bei keiner der Zielvariablen einen signifikanten Trend auf.

5.2.4 Sensitivitätsanalysen

Als Sensitivitätsanalyse wurden Page-Trend-Tests zum Testen auf einen Dosistrend innerhalb der verschiedenen Expositiongruppen durchgeführt (CA-Test, Mikrokerne) und ein gemischtes lineares Modell mit der SAS-Prozedur (SCE-Test). In den Page-Trendtests ergaben sich 2 signifikante Trends in jeweils einem Labor (Dizentrische Chromosomen und Ringchromosomen). Wie in der primären Analyse zeigte sich auch nach Korrektur nach Bonferroni bei den dizentrischen Chromosomen noch ein signifikanter Trend in einem Labor. Der Verdacht eines Befeldungseffektes, der durch den einen signifikanten Wert entsteht, konnte durch die anderen Labore nicht bestätigt werden. Weitere signifikante Trends wurden nicht ermittelt.

Schaut man sich die Dosistrends in den beiden Altersgruppen an, so ist kein signifikanter p -Wert für die jüngeren Probanden feststellbar (in keinem Labor). Signifikante Werte treten nur in der Gruppe der älteren Probanden auf, nur bei einzelnen Zielvariablen des CA-Tests (Summe geschädigter Chromosomen, Dizentrische Chromosomen, Ringe und Chromatidtyp-Aberration) und nur in jeweils einem Labor.

5.3 SCHLUSSFOLGERUNG

Mit dem vorliegenden Projekt wurden erstmals im Rahmen einer Ringstudie umfassende Analysen zu gentoxisch relevanten Endpunkten (Chromosomenaberrationen, Mikrokerninduktion, DNA-Schäden, Schwesterchromatidaustausche) in teilungsaktiven menschlichen Zellen durchgeführt. Das Studiendesign greift in wesentlichen Punkten (periphere Lymphozyten von mindestens 20 Spendern, Exposition durch ein zentrales Labor, Auswertung der Präparate parallel durch 3 unabhängige Labore, um das Risiko von falsch-positiven und falsch-negativen Ergebnissen zu minimieren, Mitführen geeigneter Kontrollen (sham und positiv), Auswertung von jeweils 1.000 Zellen in den CAs, 2.000 Zellen in den Mikrokerntests und 50 Zellen bei den SCEs, Einbindung von Statistikern, verblindete Auswertung) Empfehlungen der internationalen COST Action 281 auf. Stimulierte Lymphozyten erlauben (anders als nicht stimulierte Lymphozyten, die sich nicht teilen), die Untersuchung möglicher Auswirkungen der HF-Exposition auf den Zellteilungsprozess. Sie stellen daher ein geeignetes Untersuchungssystem dar, das den Vorteil hat, in Form von Blutproben auch von minderjährigen Probanden verfügbar zu sein. Insgesamt wurden im Rahmen der vorliegenden Studie an PHA-stimulierten Lymphozyten keine Befeldungseffekte für die getesteten HF-Expositionen (0,2, 2 und 10 W/kg) im Hinblick auf Gentoxizität gefunden. Der Einzelbefund in einem Labor bei einer Form von Chromosomenaberrationen führt nicht zu einem begründeten Verdacht auf einen Effekt, da er durch die beiden anderen Labore nicht bestätigt wird. Von allen drei Laboren bestätigt wurde lediglich ein bereits in der Literatur beschriebener Alterseffekt bei den Mikrokernen, dieser jedoch unabhängig von der Befeldungssituation.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Insgesamt ergeben sich aus dieser Studie keine Hinweise darauf, dass hochfrequente elektromagnetische Felder unterhalb der Grenzwerte gentoxisch wirken. Auswirkungen auf die Grenzwertempfehlung ergeben sich nicht.

Die Ergebnisse der Studie sind wichtig für die Beurteilung von Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung des Mobilfunks auf relevante biologische Endpunkte und können für die Beantwortung aktueller Fragen zum Thema herangezogen werden.

STATUSBERICHTE
DER VOM BfS BEGLEITETEN STRAHLENSCHUTZ-FORSCHUNGSVORHABEN
DES BMU

*STATUS REPORTS
OF BfS SUPPORTED BMU RADIATION PROTECTION RESEARCH PROJECTS*

Themenbereich 01
Natürliche Strahlenexposition

*Subject area 01
Natural radiation exposure*

Thema Aufbau einer Bioproben-Bank von ehemaligen Beschäftigten der SAG / SDAG Wismut - Pilotstudie			
Subject <i>Biological sample and data collection of occupationally radiation exposed workers - the German Uranium Miners Biobank - a pilot study</i>			
Kennzeichen 3607S04532	Beginn 02.12.2008	Ende 30.06.2011	Fördermittel EUR 575.926,-
Forschungs- / Auftragnehmer Institut für Arbeitsmedizin und Prävention der DGUV, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA) Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, BG RCI (ehemals: Bergbau-BG)			
Projektleitung Dr. B. Pesch, Dr. G. Johnen	Fachbetreuung BfS Dr. M. Gomolka / AG-SG 1.1	verantwortlich für den Text Dr. B. Pesch, Dr. G. Johnen, Dr. M. Lehnert	

1. ZIELSETZUNG

Ziel dieser Machbarkeitsstudie ist es, die methodischen Voraussetzungen für den qualitätsgesicherten Aufbau einer Bioprobenbank nach heutigen Standards im Rahmen der durch die Zentrale Betreuungsstelle Wismut (ZeBWis) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) organisierten nachgehenden Untersuchungen von ehemaligen Beschäftigten der Wismut AG zu schaffen. Die eingelagerten Proben sollen geeignet sein, Fragen der Strahlenempfindlichkeit und Krebsentstehung zu beantworten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Von den insgesamt 400 zu beprobenden Versicherten sollen 300 Probanden eine kumulative Exposition von mehr als 750 Working-level-month (WLM) und 100 Probanden eine kumulative Exposition von nicht mehr als 50 WLM aufweisen. Die Bioproben werden gemäß eines Protokolls gesammelt und aufbereitet, welches auch auf eine hohe Probenzahl übertragbar sein soll. Der Aufbau der Bioprobenbank umfasst darüber hinaus die Konzeption einer Probandendatenbank.

3. METHODIK

Die Auswahl geeigneter Kandidaten erfolgt durch die ZeBWis, die Rekrutierung in ausgewählten Untersuchungszentren in den Bundesländern Sachsen und Thüringen. Die Koordination und Supervision der Beprobung sowie die Entwicklung, Beschaffung und Distribution der Studienmaterialien erfolgt durch das Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der DGUV, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA). Die Beprobung wird im Rahmen der turnusmäßigen nachgehenden Untersuchung in den Untersuchungszentren durchgeführt. Schulung und direkte Unterstützung erfolgt durch das IPA. Die Untersuchung umfasst eine venöse Blutentnahme sowie die Erhebung zusätzlicher Informationen zu Gesundheitsstatus, Medikamenteneinnahme und Lebensgewohnheiten. Der Versand der Proben an das BfS und das IPA wird von den Zentren mit den zur Verfügung gestellten Materialien durchgeführt. Die Aufbereitung und Einlagerung erfolgt in den Labors des BfS, des Helmholtz-Zentrums München (HZM) und des IPA jeweils nach entsprechenden Protokollen des Operationshandbuchs.

4. DURCHFÜHRUNG

Nach Prüfung der Ergebnisse der Pilotphase wurde die Probennahme nach einem gemeinsam mit Auftraggeber und Projektpartnern adjustierten Protokoll im 4. Quartal des Jahres 2009 fortgesetzt und ausgeweitet (Hauptphase). Nach Anpassung und Optimierung des Studieninstrumentariums erfolgte die Beprobung weiterer ehemaliger Wismutbeschäftigter im gesamten Jahr 2010 in Studienzentren in Schneeberg, Niederdorf (Stollberg), Plauen, Gera, Chemnitz und Zwickau. Die Beprobungen in Plauen wurde mit operativer Unterstützung des IPA durchgeführt.

Nach der Entnahme der Blutproben erfolgte unmittelbar der Versand per Post an BfS, HZM und IPA. Auf eine Präparation des Materials in den Zentren konnte in der Hauptphase verzichtet werden.

Im BfS und HZM konnten vom überwiegenden Teil der Probanden jeweils Plasmaproben, Lymphozytenextrakte und PAXgene-Proben aufbereitet und eingelagert werden.

Im Kompetenzzentrum ‚Molekulare Medizin‘ des IPA erfolgte nach einer RNA-Isolation die Expressionsanalyse der ATM-mRNA und GAPDH-mRNA (Referenz) mittels der quantitativen RealTime-PCR. Mit der aus jeder Probe isolierten DNA wurde eine Analyse des Methylierungsstatus im Promotorbereich des ATM-Gens mit Hilfe der Methylierungsspezifischen PCR (MSP) durchgeführt.

Im Kompetenzzentrum ‚Epidemiologie‘ des IPA wurde eine Probandenbank entwickelt und zur weiteren Überprüfung an den Auftraggeber geliefert.

5. ERGEBNISSE

Die Teilnahmebereitschaft (Responserate) lag im Mittel des Jahres 2010 je nach Zentrum zwischen 15% und 64%, im Mittel aller Zentren bei 45%. Obwohl sich die Raten in zwei der drei Zentren der Pilotphase deutlich gesteigert hatten, war insgesamt keine Steigerung gegenüber der Pilotphase zu erzielen.

Im gesamten Projekt waren bis zum 31.12.2010 335 ehemalige Wismutbeschäftigte bereit, sich als Probanden am Aufbau einer Probenbank zu beteiligen. Der Anteil hochexponierter Probanden (mindestens 750 WLM) im Kollektiv beträgt etwa 74%, der Anteil gering exponierter Probanden (weniger als 50 WLM) entsprechend 26%.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Um die projektierte Anzahl von Probanden und zusätzliche 50 Probanden mit niedriger Strahlenexposition zu erreichen, wurde eine Verlängerung und Aufstockung der Finanzmittel der Rekrutierungsphase bis zum 30.6.2011 vereinbart. Hierfür wurden von ZeBWiS drei Zentren (Plauen, Schneeberg, Gera) ausgewählt. Die Beprobung wird entsprechend dem Operationshandbuch „Hauptphase“ fortgesetzt.

Thema

Drittes Mortalitäts-Follow-Up der Kohorte von ca. 64.000 ehemaligen Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2008

Subject

Third follow-up of the mortality of the cohort of approximately 64000 former Wismut employees at the appointed date 31st December 2008

Kennzeichen

3608S01005

Beginn

11.07.2008

Ende

15.05.2011

Fördermittel

EUR 250.827,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Mediveritas GmbH, München

Projektleitung

Dr. M. Toelg

Fachbetreuung BfS

Dr. A. Tschense / AG-SG 1.3

verantwortlich für den Text

Dr. M. Toelg

1. ZIELSETZUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz führt eine Kohortenstudie an ca. 64.000 ehemaligen Beschäftigten der Fa. Wismut durch. Ziel ist die Abschätzung des Gesundheitsrisikos durch Strahlung, Staub und andere Noxen. Im Rahmen von zwei Vorhaben wurden bereits zwei Mortalitäts-Follow-Up zu den Stichtagen 31.12.1998 (St.Sch. 4193) und 31.12.2003 (St.Sch. 4414) durchgeführt. Im letzten Follow-Up konnten über Einwohnermeldeämter (EMA) oder Kreisarchive (KA) knapp 60% der Personen als „lebend“ und 35% als „verstorben“ identifiziert werden, für 5% konnte der Vitalstatus nicht ermittelt werden. Für 93% der Verstorbenen wurde über Gesundheitsämter (GA) oder Zentralarchive (ZA) die Todesursache ermittelt. Im aktuellen Vorhaben soll in einem dritten Mortalitäts-Follow-Up der Vitalstatus der Kohortenmitglieder und für Verstorbene die Todesursache zum Stichtag 31.12.2008 ermittelt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ERHEBUNG DES VITALSTATUS

Der Vitalstatus (d. h. die Information, ob Kohortenmitglieder noch leben oder verstorben sind) soll für 37.073 Personen ermittelt werden, ein Teil dieser Personen (174) ist seit dem letzten Follow-Up neu hinzugekommen.

2.2 ERHEBUNG DER TODESURSACHE FÜR VERSTORBENE

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

3. METHODIK

Für die 37.073 ehemaligen Wismutmitarbeiter wird der Vitalstatus durch Anfragen bei den EMA erhoben. Hierzu wird die jeweils letzte im Rahmen des zweiten Follow-Up ermittelte Adresse verwendet. Meldet das EMA eine Person als „noch wie angegeben gemeldet“, so wird diese Information in die Datenbank eingegeben und das Follow-Up ist für diese Person abgeschlossen. Werden Personen als „verzogen“ gemeldet, so wird die neue Adresse in die Datenbank aufgenommen und das nun zuständige EMA angeschrieben. Der beschriebene Vorgang wiederholt sich so lange, bis eine aktuelle Adresse ermittelt oder die gesuchte Person als „verstorben“ gemeldet wird. Lässt sich der Vitalstatus einer Person über die EMA nicht ermitteln, so werden gegebenenfalls andere Behörden wie z. B. Kreisarchive eingeschaltet.

Bei von den EMA als „verstorben“ gemeldeten Personen werden, basierend auf den Angaben zu Sterbedatum und Sterbeort, die entsprechenden GA mit der Bitte um Zusendung von Kopien der Todesbescheinigungen angeschrieben. Aus Gründen des Datenschutzes versenden die GA die Belege ohne Namensangabe (stattdessen wird eine mitgeschickte Stichprobennummer übernommen) direkt an die Leitung der Projektgruppe Wismut des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS).

Vom BfS erfolgt eine Rückmeldung an Mediveritas, für welche Stichprobennummern Totenscheine vorliegen, so dass diese dann in der Datenbank als „verstorben, Todesursache bekannt“ abgeschlossen werden können. Eine Verbindung zwischen Namen und Todesursache wird im Regelfall nicht mehr hergestellt. Die Ordner mit den Totenscheinkopien werden vom BfS in größeren Tranchen an das Statistische Landesamt in Bad Ems verschickt. Hier wird die Todesursache nach ICD10 verschlüsselt, die ICD10-Codes werden abschließend in die Datenbank eingestellt.

4. DURCHFÜHRUNG

Vom BfS wurde der Mediveritas GmbH am 25.11.2008 eine Access-Datenbank mit den Adressen von 37.073 Personen aus dem zweiten Follow-Up zur Verfügung gestellt. Nach Portierung der Daten in die Mediveritas-Datenbank, nochmaliger Überprüfung der Daten und Aktualisierung der Anschreiben konnte im Januar 2009 mit dem Versand der Formblatt-Anfragen an die EMA begonnen werden. Die von den Ämtern zurücklaufenden Daten wurden kontinuierlich in die Datenbank eingepflegt und für die als verzogen gemeldete Personen die jeweils nun zuständigen EMA kontaktiert. Im Februar 2010 wurde damit begonnen, die GA bzgl. der Totenscheinkopien anzuschreiben.

5. ERGEBNISSE

Im Rahmen der Vitalstatuserhebung wurden vier doppelte Datensätze identifiziert, so dass sich die Zahl der zu überprüfenden Personen auf 37.069 reduzierte. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung lag der Vitalstatus für 36.878 Personen (99,5% aller Personen) vor. Von den Personen mit bekanntem Vitalstatus waren 4.254 „verstorben“ (11,5%), 32.624 Fälle (88,0%) konnten als „lebend“ abgeschlossen werden. Für 175 Personen konnte der Vitalstatus nicht ermittelt werden, 16 Personen sind bezüglich des Vitalstatus noch in Bearbeitung.

Für alle 4.254 verstorbenen Personen wurden Anfragen zu den Totenscheinen an die jeweils verantwortlichen GA verschickt. Insgesamt 3.474 Totenscheine gingen dem BfS bis zum 20.01.2011 bereits zu (81,7% aller bis jetzt als verstorben gemeldeten Personen). Für 90 Personen konnten die zuständigen Ämter keine Totenscheinkopien zur Verfügung stellen (2,1% aller bis jetzt als verstorben gemeldeten Personen). Die Todesursachen wurden von Mitarbeitern des Statistischen Landesamtes in Bad Ems nach ICD10 verschlüsselt; für 3.139 Personen ist die Kodierung bereits abgeschlossen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Erhebung des Vitalstatus ist bis auf 16 „Problemfälle“ komplett abgeschlossen. Von den GA fehlen noch Auskünfte zur Todesursache von 690 Personen. Sobald diese Fälle abgearbeitet worden sind, kann das Vorhaben (voraussichtlich plangemäß zum 15.05.2011) abgeschlossen werden.

Thema

Untersuchungen der Ortsdosisleistung in Flugzeugen unter Berücksichtigung des Sonnenzyklus, der Lageveränderung der magnetischen Pole und der Auswirkung von solaren Ereignissen zur Qualitätssicherung der Dosisermittlung für das fliegende Personal

Subject

Verification of dose rate in aircraft taking into account the solar cycle, the dislocation of magnetic pole and solar particle events in order to quality control for radiation dose calculation of air crews

Kennzeichen 3608S10003	Beginn 03.02.2009	Ende 31.01.2012	Fördermittel EUR 319.620,-
----------------------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Forschungs- / Auftragnehmer
PTB, Braunschweig

Projektleitung Dr. F. Wissmann	Fachbetreuung BfS L. Kammerer / AG-SG 2.3	verantwortlich für den Text Dr. F. Wissmann
--	---	---

1. ZIELSETZUNG

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

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

2. EINZELZIELSETZUNG

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

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

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

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

3. METHODIK

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

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

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

NAVIDOS ist so konzipiert, dass jedes Dosimeter, das über eine serielle Schnittstelle verfügt, betrieben werden kann. Zurzeit sind gleichzeitig zwei DOSTEL und ein weiterer Detektor im Betrieb.

4. DURCHFÜHRUNG

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

Parallel zu den Messungen werden vom DLR mittels der GEANT4 Monte-Carlo Software Simulationsrechnungen für die Strahlungsumgebung in Flughöhen durchgeführt. Hierbei wurden im Speziellen die Dosisrate, die Gesamtdosis und das LET-Spektrum in Flughöhe bestimmt.

5. ERGEBNISSE

Die Messungen laufen nahezu problemlos mit nur wenigen Unterbrechungen, die unter anderem durch die betriebsnotwendigen Wartungszeiten der Flugzeuge und der Messgeräte bedingt sind. Pro Kalendermonat werden im Idealfall für ca. 400 Stunden pro NAVIDOS Messdaten erhoben und von der CAU und der PTB ausgewertet.

Die große Menge an Messdaten ermöglicht die Untersuchung des Strahlungsfeldes in Flughöhen mit bisher noch nicht erreichter statistischer Genauigkeit. Wegen der Verwendung von Silizium-Detektoren ist für die Bestimmung der Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ bzw. deren Rate eine Kalibrierung notwendig. Da das Feld in Flughöhen sehr komplex bezüglich Strahlenart (Neutronen, Myonen, Elektronen, etc.) und Teilchenenergien (keV bis GeV) ist, kann eine Kalibrierung in herkömmlichen Strahlungsfeldern nur bedingt durchgeführt werden. Deshalb wurde im Rahmen des Vorhabens eine Methode zur Feldkalibrierung entwickelt, die eine Rückführbarkeit auf die bisher von der PTB gemachten Messungen sicher stellt. Dazu wurden an ca. 2.500 Messungen der PTB, durchgeführt in den Jahren 1998 bis 2006, einfache mathematische Funktionen angepasst und daraus das Programm FDOScalc entwickelt [Wissmann 2010a]. Die wesentlichen Variablen sind die geografischen Koordinaten, die entsprechende vertikale Abschneidesteifigkeit des Erdmagnetfelds, die barometrische Flughöhe und die Zählrate des Neutronenmonitors in Oulu (Finnland) als Maß für den Einfluss der Sonnenaktivität auf den Fluss der galaktischen Strahlung in die Erdatmosphäre. Mit FDOScalc werden an Hand der geflogenen Koordinaten die Referenzwerte berechnet und die Messungen der verschiedenen Messgeräte kalibriert. Die Methode wurde sowohl unter konstanten Flugbedingungen [Wissmann 2010] als auch auf Messflügen nach Kapstadt und Bangkok verifiziert [Wissmann 2010a, Möller 2009].

Durch die sehr gute statistische Datenlage ist es möglich, die zeitliche Entwicklung der Ortsdosisleistungen über einen großen Höhen- und Breitenbereich zu untersuchen um eine Aussage darüber treffen zu können, wie stark sich die Strahlenexposition in Flughöhen im Verlauf des Sonnenzyklusses ändert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im Laufe des Projektes sind noch folgende Arbeiten geplant:

- Auswertung der laufenden Messungen;
- Vergleich der Messungen mit zugelassenen Dosisermittlungsprogrammen;
- Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung der Ersatzdosis beim Auftreten eines solaren Ereignisses.

Thema

Erarbeitung fachlicher Grundlagen zur Beurteilung der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messmethoden zur Bestimmung der Radonbodenluftkonzentration

Subject

Basis for the assessment of the comparability of different methods for the determination of radon concentration in soil gas

Kennzeichen

3609S10003

Beginn

01.01.2010

Ende

31.7.2011

Fördermittel

EUR 96.419,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Kemski & Partner, Beratende Geologen, Bonn

Projektleitung

Dr. J. Kemski

Fachbetreuung BfS

Dr. B. Hoffmann / SW 1.1

verantwortlich für den Text

Dr. J. Kemski

1. ZIELSETZUNG

Es sollen Standorte unterschiedlicher Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft sowie unterschiedlicher Permeabilität untersucht werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass sowohl Radon als auch Permeabilität weite Bereiche der natürlichen Schwankungsbreite beider Parameter abdecken.

Über 12 Monate hinweg sollen auf diesen Standorten parallel aktive und passive Radonmessungen durchgeführt werden. Parallel sollen meteorologische und bodenphysikalische Parameter erhoben werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Einzelnen sollen folgende Zielstellungen umgesetzt werden:

- 2.1 Auswahl und Einrichtung geeigneter Messpunkte mit umfangreichen Standortuntersuchungen (Geologie, Radiochemie, Bodenphysik);
- 2.2 Durchführung aktiver Radonmessungen in der Bodenluft;
- 2.3 Durchführung passiver Radonmessungen in der Bodenluft;
- 2.4 Ergebnisanalyse mit Entwicklung eines Prognoseverfahrens, mit Hilfe dessen aus Kurzzeitmesswerten ein „Jahresmittelwert“ der Radonkonzentration in der Bodenluft ermittelt werden kann.

3. METHODIK

Zur Erreichung der o. g. Zielstellungen wurden nach gezielten Voruntersuchungen drei Messareale ausgewählt, die den o. g. Anforderungen entsprachen: Das Areal mit den höchsten Aktivitäten liegt in Tschechien nahe Prag („Lounovice“; verwitterter Granit), die Flächen mit den durchschnittlichen und niedrigen Radonkonzentrationen bei Bonn („Messdorfer Feld“, Löss bzw. „Burg Lede“, Terrassenablagerungen).

Für die aktiven Messungen wurde das in Bonn entwickelte Kurzzeitmessverfahren mit einer Packersonde (Bonner Sonde) eingesetzt, das auch bereits bei der Erstellung der Deutschland-Karte der Radonkonzentration in der Bodenluft zum Einsatz kam. Für die passiven Messungen wurden dauerhafte Pegel eingerichtet, in die unter Beachtung stets gleicher Geometrieverhältnisse Kernspurdetektoren für einen jeweils 14-tägigen Messzyklus eingebracht werden. Die Eignung der Detektoren für diese Messzeiträume bei den vorhandenen Radonkonzentrationen wurde im Vorfeld im Labor erfolgreich getestet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 STANDORTAUSWAHL UND EINRICHTUNG DER MESSSTELLEN

Auf den drei Messflächen unterschiedlicher Radonaktivitätskonzentration werden jeweils drei Messpunkte unterschiedlicher Permeabilität untersucht.

Für die aktiven und passiven Messungen wurden jeweils getrennte Messstellen eingerichtet. Um eine einheitliche Beprobung während des gesamten 12-monatigen Untersuchungszeitraumes zu gewährleisten, geschah dies in Form stationärer Pegel. Dadurch wird sichergestellt, dass die Probennahme bzw. Messung unter stets vergleichbaren Randbedingungen erfolgt und eine Vergleichbarkeit der Resultate gegeben ist.

4.2 AKTIVE RADONMESSUNGEN

Im Einzelnen wurden an jedem dieser neun Messpunkte zwei Probennahmestellen für die aktiven Radonmessungen eingerichtet, die jeweils 14-tägig über einen Zeitraum von einem Jahr beprobt werden. Entgegen der Vorgabe des Auftraggebers wurde das gewünschte Messintervall von 4 Wochen aus wissenschaftlich-statistischen Gründen auf die Hälfte verkürzt und die Datenbasis damit verdoppelt.

4.3 PASSIVE RADONMESSUNGEN

Auch für die passiven Messungen wurden an jeder der neun Messpunkte zwei stationäre Probennahmestellen eingerichtet, in denen Kernspurdetektoren exponiert werden.

Auf Grund der Laufzeit des Forschungsvorhabens ist es nicht möglich, einerseits ein praktikables Messverfahren zur Bestimmung des Langzeitmittelwertes systematisch neu zu entwickeln sowie zu testen und andererseits gleichzeitig mittels dieses Verfahrens die geforderten Langzeitmessungen auf den Messflächen durchzuführen.

Die gewählte Vorgehensweise gewährleistet aber einheitliche und über den gesamten Messzeitraum konstante Randbedingungen der Messungen, erlaubt eine nachweisbare Abdichtung des eigentlichen Messraumes in 1 m Tiefe gegen Atmosphärenluft und lässt einen komfortablen Austausch der Messgeräte ohne Störung des Bodengefüges zu.

5. ERGEBNISSE

Nach Durchführung der bislang abgeschlossenen Messzyklen (Mai 2010 - Februar 2011) lässt sich sagen, dass die Kurzzeitmessungen mit einer standardisierten Vorgehensweise bei der Probennahme mittels der Bonner Sonde fast ausnahmslos gut reproduzierbare Werte liefern. Größere Schwankungen der Werte lassen sich durch lokale Besonderheiten erklären.

Die Ermittlung der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft mittels Kernspurdetektoren ist prinzipiell möglich. Voraussetzung ist die Herstellung definierter und reproduzierbarer Rahmenbedingungen (z. B.: Einrichtung eines Bodenluftpegels). Die Nutzung von Kernspurdetektoren, wie sie für Raumluftmessungen eingesetzt werden, ist möglich. Hier muss durch Wahl einer geeigneten Messkonfiguration der Radonzutritt zum eigentlichen Detektor ausreichend lange verzögert werden, um auch 2-wöchige Expositionen bei Bodenluftkonzentrationen zwischen 100.000 und 150.000 Bq/m³ problemlos zu erlauben. Die ersten Resultate zeigen, dass eine Optimierung des Aufbewahrungsgehäuses für die Detektorhalterung notwendig ist; auch kann eine Modifizierung des unteren Teils des Pegelrohres sinnvoll sein.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Messreihe soll bis Mai 2011 fortgesetzt werden; dann ist der 12-monatige Messzyklus beendet.

Anschließend sollen alle Messdaten zusammengeführt und mit Hilfe multivariater statistischer Methoden auf Korrelationen und Abhängigkeiten untersucht werden. Bei Feststellung signifikanter Abhängigkeiten der Radonaktivitätskonzentration von äußeren Parametern soll versucht werden, anhand einer Teilgesamtheit der Daten ein Modell zur Prognose der Langzeitkonzentration zu erstellen und dieses mit Hilfe der verbleibenden Teilgesamtheit zu verifizieren.

Thema			
Fortführung und technische Betreuung der Internetplattform zum europäischen Netzwerk für natürlicherweise auftretende radioaktive Materialien (NORM) Datenbank			
Subject			
<i>Continuation and technical support of the Internet platform for the European Network for naturally occurring radioactive materials (NORM) Database</i>			
Kennzeichen 3609S10006	Beginn 25.09.2009	Ende 31.08.2011	Fördermittel EUR 71.087,-
Forschungs- / Auftragnehmer IAF - Radioökologie GmbH, Dresden			
Projektleitung Dr. H. Schulz	Fachbetreuung BfS K. Wichterey / SW 1.2	verantwortlich für den Text Dr. H. Schulz, A. Schellenberger	

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Vorhabens besteht in der Qualifizierung des EANNORM und der Plattform www.ean-norm.net sowie seiner festen Etablierung als Instrument zum Wissens- und Informationsaustausch aller Interessenten, wie sie im European ALARA Network (EAN) für andere Bereiche (z. B. Strahlenschutz in KKW und bei anderen Anwendungen der Radioaktivität) bereits erreicht worden ist.

Dieses Instrument dient der Unterstützung des BMU bei der Schaffung /Präzisierung strahlenschutzrechtlicher Grundlagen für den Bereich NORM.

2. EINZELZIELSETZUNG

Für die Realisierung des Vorhabens wurden folgende Schwerpunktthemen formuliert:

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Im Rahmen dieses Schwerpunktthemas wird die Entwicklung der Strahlenschutzpraxis in der internationalen Fachwelt und in den relevanten Industrien verfolgt und bewertet. Die Probleme des praktischen Strahlenschutzes bei der Anwesenheit natürlicher Radionuklide in industriellen und gewerblichen Arbeitsbereichen zur Umsetzung der gesetzlichen Regelungen werden identifiziert und fachliche Lösungen dafür als Diskussionsgrundlage entwickelt.

2.2 ERARBEITUNG TECHNISCHER EMPFEHLUNGEN FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Im Ergebnis der Arbeiten zum 2.1 sind die allgemein als optimal akzeptierten Vorgehensweisen, Vorgaben und technischen Empfehlungen in Form von Merkblättern für die Strahlenschutzpraxis abzuleiten.

3. METHODIK

3.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Basis für die Arbeiten zu diesem Schwerpunktthema bildet die Analyse des Abschlussberichts über die erste Phase des EANNORM und die Bewertung der Situation. Dabei ist herauszuarbeiten, worin die wichtigsten bisher ungelösten Fragen zum Thema NORM in Deutschland und anderen europäischen Ländern bestehen und welche fachlichen Vorgaben derzeit fehlen. Die Ergebnisse dieser Situationsanalyse werden dokumentiert und mit den für das Netzwerk entwickelten Instrumenten diskutiert. Dafür werden die bereits geschaffenen nationalen und europäischen Kontakte weiter gepflegt und die Fortführung des Erfahrungsaustausches sowohl unter Nutzung der Internetplattform als auch im Rahmen eines 2. Workshops weiter ausgebaut. Dies impliziert des Weiteren die Pflege der Kontakte zum EAN.

3.2 ERARBEITUNG TECHNISCHER EMPFEHLUNGEN FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Aus der Analyse der Probleme und bisher fehlenden Vorgaben im Strahlenschutz werden allgemein als optimal akzeptierte technische Empfehlungen auf Basis der Gesetze und der bestehenden Erfahrungen abgeleitet. Wegen der Spezifik von Materialien und Technologien muss dies teils auch für einzelne Industriebranchen erfolgen, so dass z. B. Vorschläge für die Beseitigung von Rückständen der Erdöl- und Erdgasindustrie oder andere relevante NORM-Branchen gemacht werden. Bei der Ableitung von Empfehlungen werden folgende Themen behandelt:

- Messtechnik/Messmethodik für verschiedene Materialien,
- Dosisabschätzung und Bewertung sowie
- Überwachung der Beschäftigten.

Die Entwürfe der technischen Empfehlungen werden im EANNORM diskutiert. Die Ergebnisse der Diskussion werden zusammengefasst und ein Vorschlag für einzelne Empfehlungen wird erstellt.

Integriert in die Arbeiten zu diesem Schwerpunktthema ist in Ergänzung zum praktischen Strahlenschutz eine Übersichtserhebung der herkömmlichen Regelungen zur Gewährleistung des Arbeitsschutzes in den relevanten Industrien in Deutschland in geeigneter Weise (z. B. Anfrage bei Berufsverbänden).

Während des Projektes wird z. B. auch im Rahmen von Workshops durch die Mitglieder und Kontaktpersonen des Netzwerks u. a. eine Bewertung des erreichten Standes und der Nutzbarkeit des EANNORM vorgenommen und über die Perspektive des EANNORM entschieden werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Entsprechend des Arbeitsprogramms zum vorliegenden Projekt wurde im Mai 2010 die Bearbeitung des Arbeitspaketes 1 abgeschlossen. Dies implizierte eine umfassende Auswertung der derzeit z. T. auch als Entwurf vorliegenden internationalen Empfehlungen (z. B. ICRP, IAEA, EC) zum Strahlenschutz in Bezug auf NORM. Auf der Basis der im Netzwerk bestehenden Kontakte („Contact Points“) und technischen Möglichkeiten (z. B. Forum, Fragebögen) wurden tabellarisch informative Dokumente (z. B. Überblick über die nationale Strahlenschutzgesetzgebung bezüglich NORM in den EU-Mitgliedsstaaten, Überblick der für NORM zuständigen nationalen Behörden, Übersicht zur Implementierung der sog. Positivliste in die unterschiedlichen nationalen Gesetzgebungen) erstellt, die die Grundlage für weiterführende Recherchen bilden und der Information der Mitglieder des EAN-NORM dienen. Diese Dokumente sind auf der EAN-NORM Webseite in der Rubrik „NORM survey“ publiziert. Des Weiteren wurden in dieser Rubrik Verknüpfungen zu den Webseiten der unterschiedlichen nationalen Strahlenschutzbehörden und Strahlenschutzgesetzgebungen erstellt, so dass ein umfangreicher Datenpool zur Verfügung steht, der im Verlauf des vorliegenden Vorhabens kontinuierlich erweitert wird. Zur Daten- und Informationsgewinnung wurde im Rahmen der Realisierung des Arbeitspaketes 1 ein Fragebogen entwickelt und an die Mitglieder des EAN-NORM verschickt sowie die Diskussionsforen zu unterschiedlichen Themen auf der EAN-NORM Webseite initiiert. Die Ergebnisse der Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik wurden in Form eines Berichtes dargelegt.

In Auswertung der Ergebnisse des Workshops von November 2009 und bei ersten Arbeiten zum Arbeitspaket 2 zeigte sich, dass eine effektive Bearbeitung des Themas nur unter aktiver Teilnahme der beteiligten Verantwortlichen in Industrien, Behörden und Gutachter möglich ist. Als zentrales Problem stellte sich ein Thema des Arbeitspaketes 2 - das unterschiedliche Vorgehen bei der Dosisabschätzung - heraus. Aus diesem Grund wurde der für März 2011 geplante 3. Workshop bereits vom 23. bis 25. November 2010 zum Thema „Scenarios for dose assessments in the NORM industry“ durchgeführt. Insgesamt wurden 27 Fachbeiträge präsentiert. Jeder Fachbeitrag beinhaltete eine Präsentation und eine Diskussion. Am Ende jedes Tages wurde eine Abschlussdiskussion durchgeführt, die die Möglichkeit bot, weitere Fragen bzw. diskutierte Themen zu erörtern. Es erfolgte eine fachliche Auswertung des Workshops, in deren Ergebnis die Auswahl der relevanten Industriebranchen für die Erarbeitung der technischen Empfehlungen für den Strahlenschutz im Arbeitspaket 2 auf aktuellem Stand erfolgte.

Die planmäßig anstehenden Aufgaben zur Erarbeitung technischer Empfehlungen für den Strahlenschutz werden gegenwärtig realisiert und abschließend in einem Bericht dokumentiert.

5. ERGEBNISSE

Im Ergebnis der Bearbeitung des Arbeitspaketes 1 wurden einerseits die Inhalte der EAN-NORM Webseite deutlich erweitert, so dass ein umfangreicher Datenpool zur Verfügung steht und andererseits wurde eine gute Grundlage für die Arbeiten zum Arbeitspaket 2 gelegt.

Der durchgeführte 3. Workshop des EANNORM wurde mit positiver Resonanz in der „NORM-Community“ aufgenommen. Insgesamt haben 45 Personen aus 14 europäischen Ländern am Workshop teilgenommen. Es wird eingeschätzt, dass die Zielstellungen des Workshops erfüllt wurden. Nach Meinung der Teilnehmer boten die Präsentationen des Workshops einen Überblick über die vielfältigen Fragestellungen bezüglich der Dosisberechnung in der NORM-Industrie und illustrierten an Praxisbeispielen die jeweilige Vorgehensweise. Sie boten damit eine gute Grundlage für Diskussionen zum Thema und zeigten vor dem Hintergrund der Harmonisierungsbestrebungen in der EU die bestehenden Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Herangehensweise in den unterschiedlichen Ländern auf.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

In die Erfüllung des Arbeitsprogramms entsprechend der Aufgabenstellung zu diesem Vorhaben werden auch die Ergebnisse des 3. Workshops in die weitere Bearbeitung des Vorhabens einfließen. Die technischen Empfehlungen für den Strahlenschutz gemäß Arbeitspaket 2 werden für die Erdöl- und Erdgasindustrie sowie für die Verarbeitung von Zirkonmaterialien in enger Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des EAN-NORM und den entsprechenden Partnern aus der Industrie sowie von Verbänden erarbeitet.

Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

Subject area 02
Radiation protection techniques

Thema Verbesserung der Inhalationsdosimetrie bei Exposition mit radioaktiv kontaminierten Aerosolen			
Subject <i>Improvement of the inhalation dosimetry after exposure to radioactively contaminated aerosols</i>			
Kennzeichen 3608S04544	Beginn 01.04.2008	Ende 31.12.2011	Fördermittel EUR 255.395,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München			
Projektleitung Dr. J. Tschiersch	Fachbetreuung BfS Dr. D. Noßke / AG-SG 2.2	verantwortlich für den Text Dr. J. Tschiersch, O. Meisenberg	

1. ZIELSETZUNG

Die Inhalationsdosis durch die Exposition mit radioaktiv kontaminiertem Aerosol hängt neben der Aktivität auch von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Aerosols ab. Vor allem die Teilchengröße, die die Deposition im Atemtrakt beeinflusst, und die Löslichkeit der Nuklide im Atemtrakt, die den Transfer in das Blut bestimmt, sind hier entscheidend. Während für dosimetrische Berechnungen bisher vorgegebene Aktivitäts-Größenverteilungen und Löslichkeitsklassen verwendet worden sind, kann die Verwendung der für eine Exposition jeweils spezifischen Parameter die Berechnung der Inhalationsdosis deutlich verbessern. Im Fall einer Exposition können diese Werte meist nicht unmittelbar gemessen werden. Deshalb sollen Verfahren entwickelt werden, um die Aktivitäts-Größenverteilung und die Löslichkeit von radioaktiv markiertem Aerosol nach seiner Sammlung auf Filtern retrospektiv bestimmen zu können. Heiße Kernbrennstoff-Teilchen sollen dabei ebenfalls berücksichtigt werden. Eine erste Anwendung der Verfahren soll an Filtern, die in der Umgebung des Kernkraftwerks Tschernobyl bestäubt worden sind, erfolgen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Ziele des Vorhabens sind:

- die Etablierung von Methoden zur retrospektiven Bestimmung physikalischer und chemischer Parameter von radioaktiv markiertem Aerosol aus Filterproben,
- die Verwendung verschiedener geeigneter physiologischer Lösungen zur Löslichkeitsbestimmung und Ermittlung von deren Einfluss auf die Ergebnisse,
- die Bestimmung des Einflusses der physikalischen und chemischen Parameter auf die Inhalationsdosis einschließlich einer Abschätzung der Unsicherheiten.

3. METHODIK

3.1 LÖSLICHKEIT DES AEROSOLS IN LUNGENFLÜSSIGKEIT

Zur Bestimmung der Löslichkeit von Stoffen in Lungenflüssigkeit sind verschiedene simulierte Lungenflüssigkeiten mit organischen und anorganischen Bestandteilen verbreitet. Werden die Stoffe gegenüber der Flüssigkeit exponiert, geht je nach Löslichkeit ein Teil davon in Lösung. Durch eine Bestimmung der gelösten und der ungelösten Menge kann dieser Anteil bestimmt werden.

3.2 RETROSPEKTIVE BESTIMMUNG DER AKTIVITÄTS-GRÖßENVERTEILUNG

Für die retrospektive Bestimmung der Größenverteilung der auf dem Aerosol vorhandenen Aktivität wurden zwei Verfahren als geeignet identifiziert:

- Ultraschallgestützte Extraktion in ein Lösemittel,
- Ultraschallgestützte Extraktion in Luft

Bei der Extraktion in ein Lösemittel wird die Filterprobe in Wasser, dem zur Benetzung des Filters ein Tensid beigegeben wird, getaucht und in einem handelsüblichen Ultraschallbad mit Ultraschall beaufschlagt. Durch

die Kavitation trennt sich ein Teil der Aerosolteilchen vom Filter und wird im Lösemittel suspendiert. Durch eine Vernebelung des Lösemittels können die Teilchen wieder als Aerosol vorliegen. Bei der Extraktion in Luft wird der Ultraschall direkt in das Filtermedium eingekoppelt, während Luft in der Richtung, die der Sammelrichtung entgegengesetzt ist, durch das Filter strömt.

Bei beiden Verfahren kann das resuspendierte Aerosol mit einem Impaktor größenklassifiziert gesammelt werden. Anschließend kann die Aktivitätsverteilung radiometrisch, zum Beispiel gammaspektrometrisch, gemessen werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Im Zeitraum von 1988 bis 2007 wurde in der Umgebung des Sarkophags um das Kernkraftwerk Tschernobyl Aerosol auf Faserfiltern gesammelt. Teilweise erfolgte die Sammlung größenklassifiziert in Impaktoren.

4.1 LÖSLICHKEIT DES AEROSOLS IN LUNGENFLÜSSIGKEIT

Weil die auf den Filtern vorhandene Aktivität für eine Löslichkeitsbestimmung zu klein ist, wurden durch Autoradiographie Bereiche, in denen sich heiße Kernbrennstoff-Teilchen befinden, identifiziert. Mehrere solche Bereiche wurden aus den Filtern ausgestanzt und zu einer neuen Probe mit konzentrierter Aktivität zusammengefasst. Diese Proben wurden für einen Zeitraum zwischen 7 und 35 Tagen in jeweils eine von zwei ausgewählten simulierten Lungenflüssigkeiten getaucht. Dabei waren sie von zwei leeren Filtern bedeckt, um ein mechanisches Ablösen heißer Teilchen zu verhindern. Anschließend wurde die Aktivität einiger Spalt- und Aktivierungsprodukte in der Flüssigkeit und auf den Filterproben gammaspektrometrisch bzw. nach radiochemischer Analyse alphaspektrometrisch gemessen.

4.2 RETROSPEKTIVE BESTIMMUNG DER AKTIVITÄTS-GRÖßENVERTEILUNG

Zur Etablierung eines Verfahrens wurden in einem Labor am Helmholtz Zentrum München Thoron-Folgeprodukte, die sich an Aerosolteilchen anlagern, in die Luft freigesetzt. Insbesondere Pb-212 kann wegen seiner Halbwertszeit von 10,6 h gut untersucht werden, außerdem ist seine Verwendung aus Sicht des Strahlenschutzes unbedenklich. In diesem Labor wurde Aerosol auf Faserfiltern gesammelt. An den Filtern wurde dann je eine der beiden Methoden zur Resuspension des Aerosols angewendet und die Aktivitäts-Größenverteilung von Pb-212, das am resuspendierten Aerosol angelagert war, gammaspektrometrisch bestimmt. Parallel zur Sammlung auf den Filtern wurde das Aerosol direkt aus der Luft in einem Impaktor größenklassifiziert gesammelt und so die ursprüngliche Aktivitäts-Größenverteilung von Pb-212 ebenfalls gammaspektrometrisch bestimmt. Zu jeder Anwendung der beiden Methoden im Rahmen ihrer Etablierung war so die ursprüngliche, zu reproduzierende Größenverteilung bekannt.

5. ERGEBNISSE

5.1 LÖSLICHKEIT DES AEROSOLS IN LUNGENFLÜSSIGKEIT

In Filterproben, die viele kleine heiße Teilchen enthielten, zeigte Cs-137 eine Löslichkeit von bis 70% innerhalb der ersten Tage mit anschließendem starkem Absinken der Löslichkeit. Dagegen wurden aus großen heißen Teilchen, die außerdem eine besonders große spezifische Aktivität von Cs-137 aufwiesen, nur wenige Prozent von Cs-137 gelöst. Die Löslichkeit von Sr-90 betrug zwischen 0,4 und 3,6% innerhalb von 35 Tagen; bei manchen Proben konnte keine Abnahme der Löslichkeit während des betrachteten Zeitraums beobachtet werden. Am-241 und Pu-(239+240) wurden während des Zeitraums von 35 Tagen jeweils zu weniger als einem Prozent gelöst, wobei Am-241 auch gegen Ende des Zeitraums noch in Lösung ging, während bei Pu-(239+240) kein weiterer Anstieg der Löslichkeit beobachtet werden konnte. Die zeitliche Änderung der Löslichkeiten aller untersuchten Nuklide konnte als Überlagerung je zweier exponentieller Verläufe modelliert werden.

5.2 RETROSPEKTIVE BESTIMMUNG DER AKTIVITÄTS-GRÖßENVERTEILUNG

Durch die Anwendung der beiden gewählten Methoden auf Aerosol mit bekannter Aktivitäts-Größenverteilung konnte gezeigt werden, dass durch beide Methoden die ursprüngliche Aktivitäts-Größenverteilung mit ihren Parametern Median und geometrische Standardabweichung gut wiedergefunden werden kann. Bei der Extraktion in ein Lösemittel betrug die Ausbeute etwa 60%. Bei der Extraktion in Luft betrug sie bis zu 50%, in manchen Anwendungen konnte jedoch in Größenklassen am Rand der Mode keine Aktivität von Pb-212 nachgewiesen werden. Durch beide Methoden wurde eine zusätzliche Mode der Aktivitäts-Größenverteilung

mit einem Median von etwa dem Zehnfachen des Medians der ursprünglichen Mode erzeugt. Die ursprüngliche Mode kann aber gut gegenüber dieser zusätzlichen aufgelöst werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Ergebnisse der Löslichkeitsversuche sollen mit den derzeit in der Inhalationsdosimetrie verwendeten Löslichkeitsklassen verglichen werden, um den Einfluss individuell bestimmter Löslichkeiten heißer Teilchen auf die Berechnung der Inhalationsdosis bestimmen zu können.

Ein weiterer Parameter, der die Deposition von Aerosolteilchen im Atemtrakt bestimmt, ist der Formfaktor. Er kann durch Rasterelektronenmikroskopie der Filterproben an einzelnen Aerosolteilchen bestimmt werden. Durch eine elektronenmikroskopische Untersuchung der ursprünglichen Filterproben und von Filtern mit resuspendiertem Aerosol kann der Einfluss der Extraktionsmethoden auf den Formfaktor herausgefunden werden. Auch die Herkunft der gemessenen zweiten Mode bei größeren Teilchendurchmessern soll auf diese Weise festgestellt werden.

Durch die Bestimmung von Löslichkeit und Aktivitäts-Größenverteilung an Proben aus der Umgebung des Reaktors von Tschernobyl sollen Dosiskoeffizienten für individuelle Expositionsszenarien gewonnen werden.

Thema			
Entwicklung von Verfahren zur zerstörungsfreien Qualitätskontrolle von Prüfkörpern, die im Rahmen von Prüfungen zur Qualitätssicherung nach §16 Abs. 2 und 3 der Röntgenverordnung von Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung von Menschen verwendet werden			
Subject			
<i>Development of procedures to determine the conformance of phantoms, used for quality assurance in radiography, with their specification in corresponding standards</i>			
Kennzeichen 3608S20001	Beginn 01.10.2009	Ende 30.09.2011	Fördermittel EUR 275.353,-
Forschungs- / Auftragnehmer Klinikum Braunschweig			
Projektleitung Dr. M. Borowski	Fachbetreuung BfS R. Veit / AG-SG 2.2		verantwortlich für den Text Dr. M. Borowski, R. Veit

1. ZIELSETZUNG

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

Innerhalb des vorliegenden Vorhabens soll die Übereinstimmung von bestimmten auf dem Markt verfügbaren Prüfkörpern mit den in den entsprechenden Normen spezifizierten Anforderungen überprüft werden. Konkret sollen die Prüfkörper betrachtet werden, die in den Normen DIN 6868-4 (incl. DSA-Prüfkörper), DIN 6868-13 sowie DIN EN 60601-2-44 spezifiziert sind. Zudem soll die Übereinstimmung des CDMAM 3.4-Prüfkörpers sowie des Testeinsatzes AP gemäß der „Erläuterungen zur Anwendung von PAS 1054“ mit den zu Grunde liegenden Spezifikationen überprüft werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben gliedert sich in drei Hauptteile.

Im ersten Hauptteil werden Verfahren identifiziert und entwickelt, die eine zerstörungsfreie Überprüfung der Norm-Konformität der oben genannten Prüfkörper ermöglichen. Die einzelnen Verfahren werden im Hinblick auf ihren zeitlichen und finanziellen Aufwand sowie auf die resultierende Unsicherheit hin bewertet.

Im zweiten Hauptteil werden die im ersten Hauptteil entwickelten Verfahren auf am Markt verfügbare Prüfkörper der betrachteten Normen angewendet. Für diese Prüfkörper soll eine statistisch signifikante Aussage über ihre Norm-Konformität erarbeitet werden.

Im dritten Hauptteil werden die oben genannten Prüfkörper kritisch im Hinblick auf ihre Eignung zur Prüfung der Bildqualität und Strahlenexposition bewertet. Darauf aufbauend werden Vorschläge zu Optimierungsmöglichkeiten entwickelt.

3. METHODIK

Die Methodik zum ersten Hauptteil besteht in der Identifikation und exemplarischen Verifikation geeigneter Analyseverfahren zur zerstörungsfreien Überprüfung der Spezifikation der oben genannten Prüfkörper.

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

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 TÄTIGKEITEN ZUM ERSTEN HAUPTTEIL DES VORHABENS

Das Prüfverfahren wird gemäß dem Projektplan für jeden Prüfkörper in vier aufeinander aufbauenden Schritten entwickelt: 1. Definition und Beschaffung geeigneter Master-Prüfkörper; 2. geometrische Charakterisierung der Master-Prüfkörper; 3. Untersuchung der Master-Prüfkörper mittels Röntgenbildgebung; 4. Zusammenführung der geometrischen und durch die Bildgebung erzielten Resultate und Erstellung einer Korrelationsmatrix, die es ermöglicht die Geometrie von Komponenten der Prüfkörper in unbekanntem Prüfstücken zu ermitteln.

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

Es wurden bislang folgende Aufgaben erledigt:

4.1.1 Entwicklung von geeigneten Verfahren zur zerstörungsfreien Überprüfung des CDMAM-Prüfkörpers sowie des Testeinsatzes AP nach PAS 1054

Der CDMAM-Master-Prüfkörper sowie fünf der Mammographieprüfkörper, die 2008 in einem vom NAR initiierten Vorhaben mittels Synchrotronstrahlung untersucht wurden, wurden an einer Mikrofokus-Röntgenanlage untersucht. Die Unsicherheit der Messungen wurde durch Verfeinerung der Messtechnik auf 10 nm reduziert. Die Resultate der Röntgenbildgebung wurden mit den Resultaten der Synchrotronmessungen zu einer Korrelationsmatrix kombiniert, welche die Überprüfung unbekannter Prüfkörper ermöglicht. Die Unsicherheit der Synchrotronmessung wurde gegenüber vorherigen Messungen verringert. Hierzu wurden spezielle Prüfobjekte entworfen und sowohl im Synchrotron wie auch mittels AFM untersucht.

Für den Schwächungskörper des CDMAM wurde ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung entwickelt. Hierzu wurden Master-Prüfkörper koordinatenmesstechnisch untersucht sowie deren Abbildungseigenschaften an einer zuvor genau charakterisierten Röntgenanlage bestimmt. Geometrische und mittels Röntgenbildgebung erhaltene Informationen werden durch eine Korrelationsmatrix in einander überführt.

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

Die Master-Prüfkörper, die gemäß dem Wunsch des BfS ausgehend von Standard-Prüfkörpern definiert wurden, wurden geometrisch mittels optischer oder taktiler Koordinatenmesstechnik untersucht.

Die Röntgenanlage zur bildgebenden Untersuchung der Prüfkörper wurde charakterisiert. Die Master-Prüfkörper wurden an der Anlage untersucht. Die Geometrie der Prüfkörper und die Resultate der Röntgenbildgebung werden durch eine Korrelationsmatrix in einander überführt.

Entgegen dem ursprünglichen Projektplan werden die Bleistrichraster bildgebend an einer Mikrofokus-Röntgenanlage untersucht werden. Die Anlage wurde charakterisiert. Danach wurden die Master-Prüfkörper an der Anlage untersucht. Die Informationen der Röntgenbildgebung wurden mit den geometrischen Daten durch eine Korrelationsmatrix in einander überführt.

4.1.3 Entwicklung von geeigneten Verfahren zur zerstörungsfreien Überprüfung des Prüfkörpers nach DIN EN 60601-2-44

Es wurde eine koordinatenmesstechnische Standard-Messprozedur für die geometrische Untersuchung der Prüfkörper entwickelt.

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

4.2 TÄTIGKEITEN ZUM ZWEITEN HAUPTTEIL DES VORHABENS

Die Konformitätsprüfung von auf dem Markt verfügbaren Prüfkörpern der betrachteten Normen wurde für den CTDI-Prüfkörper sowie die Prüfkörper der konventionellen Röntgendiagnostik begonnen. Entgegen dem ursprünglichen Projektplan wird die Konformitätsprüfung der Geometrie der CTDI-Prüfkörper nicht von der PTB, sondern von einem akkreditierten Messinstitut durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERGEBNISSE ZUM ERSTEN HAUPTTEIL DES VORHABENS

Die theoretischen, simulationstechnischen aber auch die messtechnischen Arbeiten deuten darauf hin, dass einige Spezifikationen von Prüfkörpern, die in den Normen gegeben sind, sinnvollerweise überdacht werden sollten.

5.1.1 Entwicklung von geeigneten Verfahren zur zerstörungsfreien Überprüfung des CDMAM-Prüfkörpers sowie des Testeinsatzes AP nach PAS 1054

Es konnten für den Strukturkörper des CDMAM sowie für den verwendeten Schwächungskörper Korrelationsmatrizen entwickelt werden, die eine zerstörungsfreie Prüfung dieser Prüfkörper durch Röntgenbildgebung ermöglichen.

Es stellte sich als problematisch heraus, eine ausreichend kleine Messunsicherheit für die dünnsten Goldobjekte der Prüfkörper zu erreichen. Darüber hinaus stellte sich heraus, dass die im Projektplan vorgesehene Vorgehensweise auf Grund der Oberflächeneigenschaft des CDMAM nicht durchführbar ist. Beiden Herausforderungen wurde durch eine Änderung der Vorgehensweise begegnet. Die Änderung der Vorgehensweise führte zu einer Verzögerung im Projektablauf.

In 2011 kann die Konformitätsprüfung von in der Praxis eingesetzten Prüfkörpern erfolgen.

5.1.2 Entwicklung von geeigneten Verfahren zur zerstörungsfreien Überprüfung von Prüfkörpern nach DIN 6868-4 sowie DIN 6868-13

Es konnten bislang für die Strukturkörper der Prüfkörper nach DIN 6868-13, den DSA-Prüfkörper sowie für die verwendeten Schwächungskörper Korrelationsmatrizen entwickelt werden, die eine zerstörungsfreie Prüfung dieser Prüfkörper durch Röntgenbildgebung ermöglichen.

Die spezifischen Eigenschaften einiger Komponenten des Prüfkörpers nach DIN 6868-4 machten ihren Einsatz als Master-Prüfkörper unmöglich. Für diese Komponenten musste ein geeigneter Ersatz beschafft und untersucht werden. Nachdem die geometrischen Untersuchungen in 2010 noch nicht abgeschlossen wurden, konnte für diesen Prüfkörper noch keine Korrelationsmatrix erstellt werden. Die bildgebenden Arbeiten, die zur Erstellung der Korrelationsmatrix notwendig sind, wurden gleichwohl bereits abgeschlossen. Die Änderung der Vorgehensweise führte zu einer Verzögerung im Projektablauf.

Die Untersuchung von in der Praxis eingesetzten Prüfkörpern wurde begonnen.

5.1.3 Entwicklung von geeigneten Verfahren zur zerstörungsfreien Überprüfung des Prüfkörpers nach DIN EN 60601-2-44

Die koordinatenmesstechnische, geometrische Untersuchung der Prüfkörper stellte sich als in der Routine gut durchführbar heraus. Daher wurde von dem ursprünglichen Plan einer Prüfung der Geometrie mittels Röntgenbildgebung abgewichen. Die Routineprüfungen sollen mittels Koordinatenmesstechnik erfolgen.

Die CT-Untersuchung ermöglicht es, die Verteilung der Materialdichte innerhalb der Prüfkörper ausreichend genau zu bestimmen.

Die Untersuchung von in der Praxis eingesetzten Prüfkörpern wurde begonnen.

5.2 ERGEBNISSE ZUM ZWEITEN HAUPTTEIL DES VORHABENS

Resultate zum zweiten Hauptteil des Vorhabens liegen noch nicht vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die ausstehenden Arbeiten zum ersten Hauptteil des Vorhabens sollen im ersten Quartal 2011 abgeschlossen werden.

Die Konformitätsprüfungen sollen bis zum Ende des zweiten Quartals 2011 abgeschlossen werden.

Die Erarbeitung von Empfehlungen zu Toleranzen, die aus Sicht der Röntgenbildgebung sowie der Dosimetrie sinnvoll erscheinen, sollen abgeschlossen werden.

Thema

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

Subject

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

Kennzeichen 3609S20001	Beginn 01.11.2009	Ende 31.10.2012	Fördermittel EUR 373.585,-
----------------------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Forschungs- / Auftragnehmer

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH

Projektleitung

Dr. J. Kaulard

Fachbetreuung BfS

Dr. G. Frasch / AG-SG 2.3

verantwortlich für den Text

Dr. J. Kaulard

1. ZIELSETZUNG

Eine optimierte Arbeitsplanung und Arbeitsdurchführung kann bei Tätigkeiten in kerntechnischen Anlagen, insbesondere in Kernkraftwerken in Betrieb und Stilllegung zu beträchtlichen Dosisersparungen führen. Um entsprechende Methoden hierzu fortentwickeln zu können, sind detaillierte Kenntnisse der Expositionsursachen und deren gegenseitiger Abhängigkeiten unabdingbare Voraussetzung. Dazu sind u. a. Analysen der durchgeführten Tätigkeiten und der damit einhergehenden Strahlenexposition erforderlich, die hinsichtlich des erforderlichen Datenmaterials über Daten der amtlichen Personendosimetrie hinausgehen.

Im Rahmen dieses Vorhabens werden nun einerseits frühere Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen beruflichen Strahlenexposition in kerntechnischen Anlagen unter dem Gesichtspunkt der Optimierung fortgeschrieben und andererseits am nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch teilgenommen. Darüber hinaus wird im Rahmen des Vorhabens geprüft, ob und ggf. welche Möglichkeiten es gibt, entsprechende Erhebungen zu tätigkeitsbezogenen Strahlenexpositionen in nichtkerntechnischen Einrichtungen durchzuführen und unter welchen Voraussetzungen solche Erhebungen durchgeführt werden können. Ziel ist es zu untersuchen, ob eine entsprechende Datenerfassung dauerhaft außerhalb der Kerntechnik realisierbar ist und gewonnene Daten Schlussfolgerungen zur Optimierung des Strahlenschutzes zulassen.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

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

Für deutsche kerntechnische Anlagen werden Informationen und Daten, die für die Dokumentation und Auswertung der beruflichen Strahlenexposition in den Anlagen von Bedeutung sind, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der durchgeführten Tätigkeiten für die Jahre 2008, 2009 und 2010 erhoben, aufbereitet und in jährlichen Berichten dokumentiert. Die zu erhebenden Daten stammen aus der betrieblichen Dosimetrie der Anlagen und weisen einen Detaillierungsgrad auf, der höher ist als derjenige der Daten der amtlichen Strahlenschutzüberwachung.

2.2 ANALYSE TÄTIGKEITSBEZOGENER EXPOSITIONSDATEN

Anhand der Informationen und Daten werden die Zusammenhänge zwischen der beruflichen Strahlenexposition und den sie beeinflussenden Faktoren untersucht und die Möglichkeiten der Reduktion der Strahlenexposition dargestellt. Schwerpunkt der Analyse sind die einzelnen durchgeführten Tätigkeiten und die sie begleitenden technischen und arbeitsorganisatorischen Strahlenschutzmaßnahmen.

2.3 VERGLEICH DER ERGEBNISSE AUF NATIONALER UND INTERNATIONALER EBENE

Die Daten und ihre Auswertungen sollen in zeitlicher Fortsetzung früherer Daten und Auswertungen stehen 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 und eine Zusammenarbeit sowie ein Informationsaustausch auf dieser Ebene gepflegt.

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

Auf der Basis der erhobenen Daten sollen Vorschläge zur Optimierung der Arbeitseinsätze und der Arbeitsmittel, insbesondere bei wiederkehrenden Prüfungen und bei typischen Arbeitsschritten der Stilllegung erarbeitet werden.

2.5 STUDIE ZUR ERMITTLUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN NICHTKERN-TECHNISCHEN EINRICHTUNGEN

Auf Grundlage der Erfahrungen zur Erfassung von Daten zu beruflichen Strahlenexposition in deutschen kerntechnischen Anlagen wird eine Studie durchgeführt, um die Möglichkeiten zur systematischen und dauerhaften Erfassung von Daten zur beruflichen Strahlenexposition außerhalb kerntechnischer Anlagen zu erörtern und zu bewerten. Im Rahmen der Studie soll insbesondere geklärt werden, für welche Anlagentypen eine Betrachtung unter Gesichtspunkten einer höheren zu erwartenden oder tatsächlichen Strahlenexposition von besonderer Bedeutung ist, wie die notwendigen Daten zur Exposition bereitgestellt werden können (z. B. durch Anlagen, durch zuständige Behörden), inwieweit relevante Anlagen eine systematische und dauerhafte Erfassung unterstützen und wie die Einführung einer möglichst alle relevanten Anlagen berücksichtigende Datenerfassung in einem mehrstufigen Verfahren erfolgen könnte.

3. METHODIK

3.1 METHODIK ZUR UNTERSUCHUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN KERN-TECHNISCHEN ANLAGEN

Die Daten zur Fortschreibung der Zeitreihen werden mit Hilfe des Datenerfassungssystems des Information System on Occupational Exposure (ISOE) der OECD Nuclear Energy Agency (NEA) erhoben. Mit Blick auf die Erfordernisse von Kernkraftwerken in Stilllegung werden hierzu die Arbeiten zur entsprechenden Anpassung des ISOE Datenerfassungssystems weiter fortgesetzt. Darüber hinaus werden für Teilbereiche - insbesondere im Bereich der Stilllegung - die Daten aus weiteren Quellen, insbesondere durch ergänzende Anfragen bei den jeweiligen Anlagen angereichert. Die Daten werden in einer Datenbank gespeichert und können aus dieser für die verschiedenen erforderlichen Auswertungen abgerufen werden. Auf Grund der Beteiligung an dem ISOE-System stehen umfangreiche internationale Daten ebenfalls in einer Datenbank für Vergleiche und Analysen zur Verfügung. Die bei der Auswertung und Analyse gewonnenen Ergebnisse werden für die verschiedenen Themenbereiche in Berichten dokumentiert. Die in Ziffer 2.3 ebenfalls angesprochene Zusammenarbeit mit dem Ausland wird schwerpunktmäßig durch Teilnahme an Sitzungen und Veranstaltungen des ISOE als zentrale internationale Einrichtung zum beruflichen Strahlenschutz in Kernkraftwerken wahrgenommen.

3.2 METHODIK ZUR DURCHFÜHRUNG DER STUDIE ZUR ERMITTLUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN NICHTKERNTECHNISCHEN EINRICHTUNGEN

Die für die Studie erforderlichen Daten werden auf Grundlage eines noch zu entwickelnden Datenerfassungsbogens erhoben. Hierzu sind unter Strahlenschutzgesichtspunkten interessierende Einrichtungen zu identifizieren, diese für eine freiwillige Mitarbeit in der Studie zu gewinnen und ein Erhebungsbogen zu relevanten Strahlenschutzdaten, insbesondere zu Tätigkeiten abzustimmen. Die im Rahmen der Auswertung der Daten gewonnenen Erkenntnisse zu den Möglichkeiten einer regelmäßigen tätigkeitsbezogenen Datenerfassung und Auswertung werden in einem Fachbericht dargelegt.

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. In einzelnen Fällen erfolgte eine ergänzende bzw. separate Datenerfassung. Insbesondere für in Stilllegung befindliche Anlagen wurden ergänzend Betriebsberichte der Anlagen sowie separat von den Anlagen zusammengestellte Informationen, wie z. B. Auflistungen von Stilllegungsarbeiten berücksichtigt.

Mit der vorgesehenen Dokumentation und Auswertung wurde auf der Basis der erhobenen und in die Datenbank der GRS integrierten Daten für die jeweiligen Jahre begonnen.

Der nationale und internationale Informationsaustausch fand im Rahmen von Teilnahmen an nationalen Konferenzen und an Sitzungen und Veranstaltungen des ISOE statt.

Aspekte der Optimierung wurden bei der Diskussion der Daten fortlaufend verfolgt. Eine geschlossene Dokumentation ist hierzu in 2012 im Zusammenhang mit den tätigkeitsbezogenen Auswertungen vorgesehen.

4.2 DURCHFÜHRUNG DER STUDIE ZUR ERMITTLUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN NICHTKERntechnischen EINRICHTUNGEN

Entsprechend Arbeitsprogramm ist die Durchführung der Studie für 2011 / 2012 geplant.

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 nunmehr bis 2009 vor. Die nach Abschnitt 2.1 vorgesehenen Jahresberichte mit Übersichten über die berufliche Strahlenexposition aller Kernkraftwerke bis zum Jahr 2008 und für Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufes bis zum Jahr 2009 befinden sich in der internen Qualitätssicherung und werden Anfang 2011 fertig gestellt. Zu beachten ist, dass die Berichte nach Weisung des BMU der Öffentlichkeit nicht zur Verfügung stehen.

5.2 ANALYSE TÄTIGKEITSBEZOGENER EXPOSITIONSDATEN

Die Auswertung der Expositionsjahre 2008 und 2009 wurde begonnen und wird im Rahmen der Auswertung der Daten zu 2010 in 2012 abgeschlossen und dokumentiert.

5.3 VERGLEICH DER ERGEBNISSE AUF NATIONALER UND INTERNATIONALER EBENE

Der Vergleich der Expositionen auf internationaler Ebene wurde unter Nutzung der Daten des Jahres 2008 fortgeschrieben. Die Ergebnisse bestätigen die bisherige Einordnung der deutschen Anlagen unter Berücksichtigung der Anlagen-Generationen. Internationale Daten zum Jahr 2009 liegen derzeit noch nicht vor.

Darüber hinaus konnten deutsche Beiträge in die Diskussion zur stilllegungsbezogenen Anpassung des ISOE Datenerfassungssystems eingebracht werden. Durch Teilnahme an internationalen und nationalen Symposien des ISOE und des TÜV konnten deutsche Erfahrungen in den internationalen Erfahrungsaustausch und umgekehrt internationale Erfahrungen in den deutschen Erfahrungsaustausch eingebracht werden.

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

Mit der Bewertung wurde begonnen und wird im weiteren Verlauf des Vorhabens fortgesetzt. Von besonderem Interesse ist hierbei der Einfluss von vollständigen Primärkreislaufdekontaminationen auf die berufliche Strahlenexposition, die in einzelnen Kernkraftwerken bereits durchgeführt wurden und von weiteren Kernkraftwerken in den nächsten Jahren angedacht sind.

5.5 STUDIE ZUR ERMITTLUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN NICHTKERN-TECHNISCHEN EINRICHTUNGEN

Siehe Abschnitt 4.2.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für die Jahre 2011 und 2012 ist die Fortsetzung der Datensammlung für das Jahr 2010, die Fortführung der jährlichen Berichterstattung zur Strahlenexposition in den kerntechnischen Anlagen, hier mit Schwerpunkt auf den Jahren 2009 und 2010, und die Fortschreibung früherer Analysen zu tätigkeitsbezogenen Expositionsdaten mit Schwerpunkt auf den Daten 2008, 2009 und 2010 vorgesehen. Ebenso wird die Mitarbeit in den Arbeitsgruppen des ISOE fortgesetzt. Darüber hinaus wird in 2011 die unter 2.5 und 3.2 angesprochene Studie begonnen und in 2012 beendet.

Themenbereich 03
Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender Strahlung,
Strahlenempfindlichkeit

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

Thema			
Funktionelle Analyse molekularer Mechanismen der strahleninduzierten Apoptose, die nicht über direkte DNA-Schäden vermittelt werden			
Subject			
<i>Functional analysis of the molecular mechanisms of radiation-induced apoptosis not directly mediated by DNA damages</i>			
Kennzeichen 3607S04531	Beginn 01.01.2008	Ende 30.04.2011	Fördermittel EUR 377.500,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München			
Projektleitung Dr. S. Moertl	Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.1	verantwortlich für den Text Dr. M. Angermeier, Dr. S. Moertl	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Projektes ist die funktionelle Analyse verschiedener molekularer Mechanismen, die für die strahleninduzierte Apoptose verantwortlich sind. Es sollen vor allem DNA (Desoxyribonukleinsäure) schadenunabhängige Mechanismen untersucht werden. Dabei soll insbesondere der Anteil der reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) als Apoptoseauslöser ermittelt werden. Eine individuelle Überempfindlichkeit gegenüber Strahlung, die durch erhöhte Apoptose entsteht, soll längerfristig für die Optimierung der Strahlentherapie und auch für den Strahlenschutz zur Bewertung von Strahlenrisiken genutzt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 FUNKTIONELLE ANALYSE INDUZIERBARER APOPTOSEMECHANISMEN

In definierten Zellsystemen werden verschiedene molekulare Mechanismen untersucht, die abhängig oder unabhängig von DNA-Schäden zu strahleninduzierter Apoptose führen. Dazu wird die Expression von Genen aus den verschiedenen Apoptoseprozessen spezifisch herunterreguliert und deren Einfluss auf die Apoptose durch eine Analyse verschiedener Apoptoseendpunkte ermittelt. Aus den Einzelergebnissen soll ein Modell entwickelt werden, durch das der quantitative Anteil der ROS vermittelten pro- und antiapoptotischen Prozesse aufgeklärt werden kann.

2.2 CHARAKTERISIERUNG VON APOPTOSE IN LYMPHOBLASTOIDEN ZELLINIEN

Das unterschiedliche Apoptoseverhalten in LUCY- (durch Transfektion mit dem Epstein-Barr-Virus gewonnene Zelllinien aus isolierten Lymphozyten junger Lungentumorpatienten der **L**Ung **C**ancer in the **Y**oung-Kohorte) und KORA- (Zelllinien von Normalpersonen aus der **K**Ooperationsstudie im **R**aum **A**ugsburg) Zellen soll mechanistisch charakterisiert werden. Dazu werden eventuell auftretende Veränderungen an Proteinen der verschiedenen Apoptosemechanismen mittels Proteome Profiler Array untersucht. Diese Änderungen im Netzwerk apoptotischer Prozesse sollen dann in das in 2.1 zu erstellende Modell einfließen.

3. METHODIK

3.1 QUANTIFIZIERUNG VON APOPTOSE UND DNA-REPARATUR NACH HERUNTERREGULATION AUSGEWÄHLTER FAKTOREN

Die Expression spezifisch ausgewählter Gene wird mittels RNA(Ribonukleinsäure)-Interferenz-Technologie in verschiedenen Zellsystemen herunterreguliert. Die Überprüfung der Herunterregulation erfolgt auf Proteinebene durch Western Blot. Nach erfolgreichem „knockdown“ wird die Untersuchung der Apoptose mit funktionellen, bereits im Labor etablierten biochemischen und molekularbiologischen Standardmethoden durchgeführt und für strahleninduzierte und ROS-abhängige bzw. DNA-schadensvermittelte (ROS-unabhängige) und H₂O₂-induzierte Apoptose verwendet (s. auch Programmreport 2009). Des Weiteren wird die Induktion der DNA-Reparatur untersucht und mit den Apoptosedaten verglichen.

3.2 CHARAKTERISIERUNG VON LYMPHOBLASTOIDEN ZELLINIEN

Das Apoptoseverhalten ausgewählter Zelllinien der KORA- und LUCY-Kohorten wird mittels Immundetektion der PARP1 (Poly [ADP-ribose] polymerase 1)-Spaltung, durchflusszytometrischer Analyse der hypoploiden Zellpopulation (SubG1-Population) und colorimetrischer Untersuchung der Caspase3-Aktivität ermittelt. Die Expressionsunterschiede apoptoserelevanter Proteine nach Bestrahlung werden mit Hilfe eines Proteome Profiler Array der Fa. R&D Systems detektiert (s. Programmreport 2008). Außerdem wird mit den oben aufgeführten Methoden eine Analyse der DNA-schadensvermittelten und H₂O₂-induzierten Apoptose in den lymphoblastoiden Zelllinien durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 MOLEKULARE ANALYSE DER INDUZIERTEN APOPTOSE- UND DNA REPARATURPROZESSE

Mittels siRNA (small inhibitor ribonucleic acid)-Technologie wird die Expression ausgewählter Gene der rezeptorvermittelten Apoptose und einiger Faktoren des intrinsischen Apoptoseweges bzw. antiapoptotischer Komponenten in einem definierten Zellsystem (Hela-Zellen) herunterreguliert. Die Quantifizierung der Apoptose erfolgt durch mindestens zwei verschiedene Apoptosemarker (s. Programmreport 2009).

Zur Unterscheidung der Apoptoseauslöser „DNA-Schaden“ und „ROS“ werden beide Wege getrennt untersucht. Außerdem soll die Bedeutung H₂O₂-induzierter Apoptose analysiert werden. Die Untersuchung der DNA-schadensvermittelten Apoptose erfolgt durch Behandlung mit Etoposid, welches durch die Hemmung von Topoisomerase II DNA-Doppelstrangbrüche induziert. Der intrazelluläre ROS-Gehalt nach Bestrahlung, Etoposidbehandlung oder H₂O₂-Zugabe wird durch DCF-Messung detektiert. Dabei wird zugesetztes, farbloses DCFH₂-DA (Dichlorodihydrofluorescein-diacetat) in der Zelle von ROS zu einem fluoreszierenden Indikatorstoff umgesetzt und mittels Durchflusszytometrie (FACS - fluorescence activated cell sorting) bestimmt. Die Äquivalenzdosen von Etoposid und H₂O₂, die einer Dosis von 10 Gy entsprechen, werden mittels Analyse von γ H2AX-Proteinaggregaten ermittelt. Anschließend wird das Apoptoseverhalten anhand der ausgewählten Apoptosemarker untersucht (s. auch Programmreport 2009). Mit den Äquivalenzdosen wird auch das Reparaturverhalten durch die Auswertung von γ H2AX- und 53BP1-Proteinaggregaten untersucht und auf Übereinstimmungen und Differenzen mit dem Apoptoseverhalten verglichen.

4.2 NACHWEIS DER APOPTOSE IN LUCY- UND KORA-ZELLINIEN

Das Apoptoseverhalten von insgesamt 23 immortalisierten Zellen der LUCY- und KORA-Kohorte wird sowohl nach gamma-Bestrahlung (s. Programmreport 2008) als auch nach der Behandlung mit einer äquivalenten Dosis Etoposid oder H₂O₂ untersucht und verglichen (s. auch Programmreport 2009).

Weiterhin wird in den LUCY- und KORA-Zelllinien die Expression von 35 apoptoserelevanten Proteinen mittels Proteome Profiler Array gemessen (s. Programmreport 2008).

5. ERGEBNISSE

5.1 ANALYSE DER INDUZIERTEN APOPTOSE- UND DNA-REPARATURPROZESSE NACH BESTRAHLUNG BZW. ETOPOSIDBEHANDLUNG

Eine Bestrahlung (0 - 10 Gy) der Zellen bewirkt eine lineare Zunahme des Indikatorfarbstoffes, wodurch die steigende Konzentration von ROS gezeigt wird. Ein noch deutlicherer ROS-Anstieg wird nach Behandlung mit H₂O₂ (0 - 1 mM) gemessen, während die Zugabe von Etoposid (0 - 20 μ M) zu keiner Veränderung im DCF-Assay führt. Dies zeigt, dass Etoposid keine ROS-Bildung induziert und damit auch keine ROS-induzierte Apoptose auslöst.

Die funktionelle Untersuchung der verschiedenen Apoptosefaktoren zeigt, dass sowohl die strahleninduzierte als auch die ROS-freie Apoptose durch die Komponenten des rezeptorvermittelten Weges deutlich beeinflusst werden. Dabei sind sowohl pro- (Caspase-8, Todesrezeptoren) als auch antiapoptotische (EGFR, IGF1R) Komponenten der Rezeptorwege beteiligt. Auch die Proteine ASK1 (proapoptotisch) und AKT1 (antiapoptotisch) verändern das Ausmaß der Apoptose. Bestrahlung und Etoposidbehandlung zeigen tendenziell die gleichen Ergebnisse, wobei eine Etoposidbehandlung weniger Apoptose auslöst, was möglicherweise durch den fehlenden ROS-vermittelten Anteil an der Apoptose erklärt werden kann.

Auch die wichtige Rolle von p53 in der Apoptose wurde mit diesem Ansatz bestätigt. Da p53 klassischerweise auch mit DNA-Reparatur in Verbindung gebracht wird, werden sowohl p53 als auch die anderen ausgewähl-

ten Gene herunterreguliert und die DNA-Doppelstrangbruchreparatur wird nach Bestrahlung und Etoposidbehandlung untersucht. Die Auswertung der Ergebnisse findet derzeit statt.

5.2 ANALYSE DER APOPTOSE IN LYMPHOBLASTOIDEN ZELLINIEN

Die 23 immortalisierten Zelllinien der KORA- und LUCY-Kohorte wurden nach der Bestimmung ihrer Apoptoseinduktion nach Bestrahlung in hoch, mittel und niedrig eingestuft, wobei sich nicht in allen Versuchen ein konsistentes Verhalten zeigt (s. Programmreport 2008). Die Einteilung der Zelllinien in hoch, mittel und niedrig apoptotisch trifft auch für die Etoposidbehandlung zu. Allerdings führt, wie auch im Modellsystem (5.1), Etoposid zu weniger Apoptose als die dem DNA-Schaden äquivalente Strahlendosis. Eine H₂O₂-Behandlung führt zu einer höheren Apoptoseinduktion als Etoposid. Jedoch war die Reproduzierbarkeit der Resultate hier sehr schwierig. Eine detaillierte Auswertung und Erklärungsfindung erfolgt derzeit noch.

20 abgeleitete KORA- und LUCY-Zelllinien wurden nach Bestrahlung außerdem im Proteome Profiler Array analysiert (s. Programmreport 2008). Die Daten werden momentan noch einmal genau mit den induzierten Apoptoseprozessen verglichen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Mit den verschiedenen dargestellten Versuchsansätzen soll der mechanistische Zusammenhang zwischen ROS und Apoptose aufgeklärt werden und eine Aussage darüber getroffen werden, welche Faktoren ROS-abhängig zu Apoptose führen. Dazu müssen eine weitere Datenzusammenfassung und eine noch detailliertere Auswertung erfolgen. Außerdem sollte als Abrundung der Daten die Bedeutung H₂O₂-induzierter Apoptose im Modellsystem analysiert werden und in die zu erstellenden Kernaussagen einfließen.

Die Erkenntnisse über ROS-vermittelte Aktivierung der verschiedenen Apoptoseprozesse sollen in den ausgewählten lymphoblastoiden Zelllinien des Patientenmaterials ebenfalls angewandt werden. Damit soll eine Aussage getroffen werden, welche ROS-aktivierten Mechanismen zum unterschiedlichen Apoptoseverhalten nach Bestrahlung von Zelllinien unterschiedlicher Individuen beitragen.

Thema			
Nachweis von strahleninduzierten Genveränderungen in Brusttumoren für eine verbesserte Abschätzung des durch ionisierende Strahlung verursachten Brustkrebsrisikos			
Subject			
<i>Detection of radiation-induced gene alterations in breast cancer for an improved assessment of radiation-related risks</i>			
Kennzeichen 3608S03004	Beginn 01.07.2008	Ende 30.06.2011	Fördermittel EUR 349.313,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum, München			
Projektleitung Prof. Dr. H. Zitzelsberger	Fachbetreuung BfS U. Oestreicher / AG-SG 1.1	verantwortlich für den Text Prof. Dr. H. Zitzelsberger Dr. Klymenko	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens ist der Nachweis von strahleninduzierten Genveränderungen in Mammakarzinomen. Hierzu sollen zunächst sechs Veränderungen von Kandidatengenen in strahlentransformierten Brustzelllinien charakterisiert und anschließend an einem Kollektiv von Mammakarzinomen verifiziert werden. Zu diesem Zweck soll ein Tumorkollektiv von Liquidatorinnen des Tschernobyl Unfalls sowie ein angeglichenes Kontrollkollektiv aus der Ukraine etabliert werden. An diesem Kollektiv sollen darüber hinaus gesamtgenomische Kopienzahlveränderungen sowie Brustkrebs-spezifische Marker untersucht werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Berichtszeitraum wurden folgende Einzelziele verfolgt:

2.1 CHARAKTERISIERUNG VON GENVERÄNDERUNGEN IN STRAHLENTTRANSFORMIERTEN BRUSTZELLEN

In den strahlentransformierten Brustzellen sollen die Gene HAS-2, GRID-1, RET, ARF3, CPM und TBX3, die durch chromosomale Rearrangements verändert wurden, nachgewiesen und charakterisiert werden.

2.2 ETABLIERUNG EINES MAMMAKARZINOM-KOLLEKTIVS

Es soll ein Kollektiv von 100 Patientinnen mit Mammakarzinomen bestehend aus 50 Liquidatorinnen des Tschernobyl Unfalls sowie von 50 Kontrollpatientinnen aus unbelasteten Gebieten der Ukraine etabliert werden. Dabei müssen eine Reihe von Auswahlkriterien (Alter < 60 Jahre, Rauchverhalten, Ausschluss neoadjuvanter Therapien, Vorliegen ausführlicher Anamnese) beachtet, die Strahlendosen für das Liquidatorinnen-Kollektiv rekonstruiert sowie die Charakteristika beider Kollektive angeglichen werden.

2.3 NACHWEIS VON CHROMOSOMALEN KOPIENZAHLVERÄNDERUNGEN

Es sollen chromosomale Kopienzahlveränderungen in den Tumoren mit Strahlenvorgeschichte und in den Kontrolltumoren bestimmt und miteinander statistisch verglichen werden.

2.4 NACHWEIS VON BEKANNTEN IMMUNHISTOCHEMISCHEN VERÄNDERUNGEN IN BRUSTKREBSTUMOREN

Es sollen bekannte immunhistochemische Veränderungen in Brustkrebstumoren (Östrogen-, Progesteronrezeptor, c-kit, Cytokeratin 5/6, TP53, ki67, Her2/neu, BRCA1/2) in allen Mammakarzinomen untersucht werden.

3. METHODIK

3.1 ZUSAMMENSTELLUNG DER TUMORKOHORTE

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

3.2 PROBENVORBEREITUNG UND DNA-ISOLIERUNG

Von allen Paraffinblöcken werden in Kiew Serienschritte angefertigt, die für die einzelnen Untersuchungen (array-CGH, FISH, Immunhistochemie, PCR (polymerase chain reaction)) verwendet werden.

3.3 ARRAY-CGH

Um chromosomale Kopienzahlveränderungen in den Tumoren zu bestimmen wurde eine Array-basierte vergleichende genomische Hybridisierung durchgeführt. Dazu wurde die isolierte DNA (Desoxyribonukleinsäure) markiert und zusammen mit unterschiedliche markierter Referenz DNA auf 1 MB BAC Arrays hybridisiert.

3.4 DOSISREKONSTRUKTION

Am Research Centre for Radiation Medicine in Kiew werden die individuellen Dosen für die Liquidatorinnen unter Verwendung der RADRUE - Realistic Analytical Dose Recontruction with Uncertainty Analysis - Methode rekonstruiert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ETABLIERUNG EINES MAMMAKARZINOM-KOLLEKTIVS UND DOSISREKONSTRUKTION

Das Brustkrebs-Kollektiv für die Gruppe der Liquidatorinnen wurde wie unter 3.1 beschrieben zusammengestellt. Insbesondere wurde darauf geachtet, dass alle Kriterien zur Aufnahme in die Studie erfüllt waren. Keiner der in die Studie aufgenommenen Fälle hatte eine neoadjuvante Chemo- oder Strahlentherapie. Es wurde ein an dieses Liquidatorinnen Kollektiv angeglichenes Kontrollkollektiv etabliert.

4.2 ARRAY-CGH ANALYSE

Es wurden von 48 Tumoren von Liquidatorinnen und von 52 Kontrolltumoren Array-CGH Analysen erfolgreich durchgeführt. Da auf Grund der Interviews zur Dosisrekonstruktion drei Fälle aus der exponierten Gruppe wieder entfernt werden mussten, müssen hier noch zwei zusätzliche Fälle nachgearbeitet werden, um 50 Tumoren zu erreichen. Die bisher nachgewiesenen Kopienzahlveränderungen wurden statistisch ausgewertet.

4.3 IMMUNHISTOCHEMISCHE UND FISH ANALYSEN BEKANNTER BRUSTKREBSGENE

107 Fälle wurden für Östrogen-, Progesteronrezeptor, c-kit, Cytokeratin 5/6, TP53 und ki67 immunhistochemisch untersucht und ausgewertet. Für Her2/neu wurden FISH Analysen in 96 Fällen durchgeführt. BRCA1/2 Mutationen wurden in 106 Fällen untersucht.

4.4 DOSISREKONSTRUKTION

Es wurden mit 47 Patienten Interviews geführt und Dosen rekonstruiert.

5. ERGEBNISSE

Im Berichtszeitraum wurden folgende Ergebnisse erzielt:

5.1 ETABLIERUNG EINES MAMMAKARZINOM-KOLLEKTIVS UND DOSISREKONSTRUKTION

Bisher wurden bei vier Patienten Dosen zwischen 50 und 929 mGy geschätzt, für die übrigen Fälle müssen Dosen zwischen 0 und 50 mGy angenommen werden. Drei Fälle stehen in der exponierten Gruppe noch aus.

5.2 NACHWEIS VON CHROMOSOMALEN KOPIENZAHLVÄNDERUNGEN

Es wurden in 48 Fällen von Liquidatorinnen sowie von 52 Kontrollfällen genomische

Kopienzahlveränderungen nachgewiesen. Die vorläufige Auswertung der bisher vorliegenden Daten mittels hierarchischer Clusteranalyse und Korrelationsanalyse hat ergeben, dass das Muster von Kopienzahlveränderungen zwischen exponierten und nicht exponierten Fällen unterschiedlich ist und dass DNA Zugewinne auf 5q35.2-35.3, 7q36.3, 9p13.2-13.3, 9q34.13-34.2 und 18q23 signifikant häufiger in exponierten Fällen auftreten.

5.3 NACHWEIS VON BEKANNTEN IMMUNHISTOCHEMISCHEN VERÄNDERUNGEN IN BRUST-KREBSTUMOREN

Es wurden für Östrogen-, Progesteronrezeptor, c-kit, Cytokeratin 5/6, TP53 und ki-67 die immunhistochemischen Analysen durchgeführt. Die Ergebnisse der Färbungen ergaben keinen signifikanten Unterschied für positive Fälle zwischen der exponierten und nicht exponierten Gruppe. Ebenso konnte für das Auftreten von BRCA1/2 Mutationen und von HER2 Amplifikationen kein signifikanter Unterschied beobachtet werden. Allerdings wurde in einigen exponierten Fällen eine monoallelische Deletion von HER2 beobachtet, die in nicht exponierten nicht auftrat.

5.4 FISH ANALYSEN FÜR RET, HAS2, GRID1, ARF1, CPM, TBX3

Die FISH Analysen für RET wurden im Berichtszeitraum abgeschlossen, die Untersuchung von Rearrangierungen von HAS2 und GRID1 wurde begonnen. Die statistischen Analysen stehen noch aus und werden erst bei vollständigem Datensatz durchgeführt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für den nächsten Berichtszeitraum sind folgende Arbeiten geplant:

- Vervollständigung der FISH Analysen für RET, HAS2, GRID1, ARF1, CPM, TBX3;
- Vervollständigung der retrospektiven Dosisermittlung bei den Liquidatorinnen;
- Statistische Analyse aller erhobenen Daten.

Thema

Auswirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf die Entstehung und den Verlauf von neurodegenerativen Erkrankungen im experimentellen Modell

Subject

Effects of low frequency electromagnetic fields on the induction and progress of neurodegenerative diseases in an animal model

Kennzeichen
3608S03008

Beginn
01.10.2008

Ende
30.09.2012

Fördermittel
EUR 690.824,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität, Institut für Pathobiochemie, Mainz

Projektleitung
Dr. A. M. Clement,
Prof. Dr. Chr. Behl

Fachbetreuung BfS
PD Dr. B. Pophof / AG-SG 1.1

verantwortlich für den Text
Dr. A. M. Clement

1. ZIELSETZUNG

Eine Reihe von epidemiologischen Studien deutet darauf hin, dass die lang andauernde Exposition mit niederfrequenten elektromagnetischen Feldern (EMF) ein erhöhtes Risiko birgt, altersabhängige Krankheiten zu erleiden. Zu niederfrequenten EMF zählen Felder, die durch den Fluss von Wechselstrom (50 Hz) wie etwa durch Hochspannungsleitungen oder elektrische Geräte verursacht werden. Die WHO (World Health Organization) geht in ihren „Environmental Health Criteria 238“ von einer möglichen, aber nicht belegten, Gesundheitsgefährdung unter diesen Bedingungen aus. Unter Einsatz geeigneter Tiermodelle soll im Rahmen dieses Projektes untersucht werden, ob die lang andauernde Exposition mit niederfrequenten EMF ein Risikofaktor für das Auftreten der Alzheimer Krankheit und der Amyotrophen Lateralsklerose (ALS) ist.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Alzheimer Krankheit und die ALS sind altersabhängige neurodegenerative Erkrankungen. Die Ursachen für das Absterben spezifischer Nervenzelltypen sind weitestgehend unbekannt, da über neunzig Prozent der Fälle sporadisch, also nicht vererbt auftreten. Neben einer genetischen Prädisposition gelten Umwelteinflüsse als eine der möglichen Ursachen für das Auftreten dieser Krankheiten. Eine Vielzahl von epidemiologischen Studien deutet darauf hin, dass die Exposition mit niederfrequenten EMF einen Risikofaktor darstellen könnte. Allerdings liegt bis heute keine Studie unter kontrollierten Laborbedingungen vor, die den Einfluss dieser Felder auf den Verlauf neurodegenerativer Erkrankungen detailliert untersucht. In den hier vorgeschlagenen Experimenten werden etablierte Mausmodelle der Alzheimer Demenz und der ALS eingesetzt, die familiäre Formen der Krankheiten repräsentieren. Unter der Voraussetzung, dass die Krankheitsmechanismen bei familiären wie den sporadischen Fällen ähnlich sind, sollten die Ergebnisse eine generelle Aussage über den Einfluss niederfrequenter EMF auf die Entstehung und den Verlauf der Krankheiten zulassen.

2.1 ALZHEIMER DEMENZ

Mutationen im Gen des Amyloid- β Vorläuferproteins (APP) sind verantwortlich für einen Teil der familiären Alzheimer Fälle und führen zu einer vermehrten Herstellung der so genannten A β -Fragmente, die sich zu Plaques im Gehirn zusammenlagern. A β -Plaques sind neben dem Auftreten von neurofibrillären Ablagerungen sowohl bei familiären wie auch bei sporadischen Alzheimer Fällen ein wesentliches neuropathologisches Merkmal. Es ist allerdings unklar, wie und an welcher Stelle die A β -Fragmente in den Pathomechanismus der Krankheit einwirken. Das APP23-Mausmodell der Alzheimer Demenz entstand 1997 durch die transgene Expression der schwedischen Doppelmutante der APP-Form APP(751) unter Kontrolle des neuronalen Thy1 Promotors. Die Tiere entwickeln ab einem Alter von sechs Monaten fortschreitend Plaques, um die herum aktivierte Gliazellen auftreten. Zudem sind die Neuriten nahe der Plaques auffällig und enthalten hyperphosphoryliertes Tau-Protein, das auch biochemisch nachgewiesen werden kann. Die Tiere zeigen schon bevor Plaques auftreten im frühen Alter Beeinträchtigungen in ihrem Erinnerungsverhalten.

2.2 AMYOTROPHE LATERALSKLEROSE

Obwohl Mutationen im Gen des Enzyms Cu/Zn-Superoxiddismutase (SOD1) nur 2% aller ALS-Fälle auslösen, sind diese Fälle klinisch von sporadischen Patienten nicht zu unterscheiden. Transgene Mäuse, die mutante Formen der SOD1 exprimieren, entwickeln eine ALS-ähnliche Krankheit, die viele phänotypische und pathologische Kennzeichen der menschlichen Erkrankung sowie den spezifischen Nervenzelltod von Motorneuronen zeigt. Die toxische Wirkung mutanter SOD1 beruht auf einer neu erworbenen, bisher unbekanntem Eigenschaft. Diese tritt dabei nicht nur in motorischen Nervenzellen auf, sondern auch in Gliazellen, die die Motoneuronen umgeben.

3. METHODIK

Die Tiere der unterschiedlichen transgenen Mauslinien werden nach der Genotypisierung permanent einem niederfrequenten EMF von 1 mT ausgesetzt. Das Feld wird mit Merrit-Spulen erzeugt. Die Käfige, Käfigdeckel und Flaschen sind aus Kunststoff gefertigt, so dass sie das Magnetfeld nicht beeinflussen. Die Kontrollgruppe wird in Scheinexpositionsmodulen gehalten, die den gleichen Aufbau wie die Expositionsmodule zeigen. Die Feldstärke in den Scheinexpositionsmodulen beträgt durch die Umlenkung der Spulenkel weniger als 2 μ T.

Im Alter von 9 und 18 Monaten wird bei den APP-transgenen Tieren zunächst untersucht, ob ihre Lernfähigkeit in Abhängigkeit der Exposition verändert ist. Die Tiere werden danach biochemisch und histologisch analysiert. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Nachweis der typischen A β -Plaques und der Spiegel der A β -Peptide.

Bei den SOD1-transgenen Tieren werden der Krankheitsverlauf und das Überleben in Abhängigkeit der Exposition dokumentiert. Danach werden die Gewebe der Tiere mit histologischen und biochemischen Methoden auf die Aggregatbildung, die gliale Aktivierung und den oxidativen Status untersucht.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Expositionsmodule und die Scheinexpositionsmodule wurden erstellt. Bei den Expositionsmodulen wurde die Streustrahlung durch Abschirmungen minimiert, so dass die Felder der Scheinexpositionsmodule mindestens 500fach geringer (unter 2 μ T) sind.

5. ERGEBNISSE

Das Ziel des Projekts ist die Untersuchung, ob niederfrequente EMF den Verlauf von altersabhängigen neurodegenerativen Erkrankungen, wie der ALS, beeinflussen. Ein wesentlicher Endpunkt der Analyse ist, ob die Exposition die Lebenszeit der SOD1-transgenen Mauslinien verändert. Für die Linie SOD1(G93A) wurden bisher 104 (Scheinexposition) bzw. 80 Tiere (Exposition) in das Experiment eingebracht. Alle im Experiment befindlichen Tiere werden jede Woche einmal gewogen. Die Entwicklung der Tiere war dabei geschlechterspezifisch relativ homogen. Der letzte Messpunkt entspricht dem Gewicht zum Zeitpunkt der Gewebeentnahme. Der Einfluss auf das Überleben der Tiere kann bisher noch nicht beurteilt werden, da für eine statistische Auswertung zu wenige Tiere das Endstadium der Krankheit erreicht haben. Zurzeit werden die präparierten Gewebe daraufhin analysiert, ob sich die Dismutaseaktivität, der oxidative Status und die Bildung von Aggregaten in Abhängigkeit der Exposition verändert haben.

Für die Untersuchung der SOD1(G85R) Mauslinie wurden bisher 91 (scheinexponiert) bzw. 119 (exponiert) Tiere in das Experiment eingebracht. Eine statistische Auswertung ist bisher nicht möglich. Insbesondere die geringe Zahl der verstorbenen Tiere aus der Scheinexposition lässt keine Aussagen zu, da der Datensatz tendenziell nur die Tiere aufweist, die früh verstorben sind. Die Tiere der SOD1(G85R) werden parallel zur SOD1(G93A) Linie gewogen. Die relativ heterogene Entwicklung der Körpergewichte spiegelt auch die Heterogenität der Lebensspannen wieder. Aus diesem Grund werden für diesen Teil der Experimentes 120 Tiere je Exposition benötigt.

Für die Untersuchung der APP23 Mauslinie wurden zum bisherigen Zeitraum 52 Tiere zur Scheinexposition und 67 Tiere zur Exposition in das Experiment eingebracht. Auch diese Tiere werden wöchentlich gewogen. Die ersten biochemischen Untersuchungen der Tiere werden durchgeführt, wenn die Tiere 1,5 Jahre alt sind. Die Zucht der APP23 Linie ist charakterisiert durch eine hohe Quote von Tieren, die aus unbekanntem Gründen versterben. Bei der APP23 Linie sterben 26% gegenüber 4% und 7% der SOD1(G85R) und SOD1(G93A) Linien. Um dies zahlenmäßig auszugleichen wurde die Zucht erweitert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Es werden zusätzliche Tiere der SOD1 Mauslinien das Endstadium der Krankheit erreichen und zur Analyse zur Verfügung stehen. Die Expressionsspiegel der Enzyme der oxidativen Abwehr und des Chaperonsystems werden biochemisch und mit PCR-Methoden untersucht. Chaperone sind Proteine, die die korrekte Faltung anderer komplexer Proteine unterstützen und die Bildung von Peroteinaggregaten verhindern. Ausserdem werden weitere Assays etabliert, um Funktionalität der oxidativen Abwehr und des Chaperonsystems zu untersuchen. Parallel dazu werden histologische Analysen durchgeführt.

Thema			
Machbarkeitsstudie für eine epidemiologische Studie zur Untersuchung des Zusammenhangs von Strahlenexposition und einer Katarakterkrankung			
Subject			
<i>Pilot study for an epidemiological study on the association between ionising radiation and cataract development</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3609S30004	01.02.2010	31.03.2011	EUR 64.088,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. G. Hammer	Dr. M. Schnelzer / AG-SG 1.3	Dr. G. Hammer	

1. ZIELSETZUNG

Das Vorhaben hat zwei Ziele: Zum Einen soll eine Übersicht über publizierte epidemiologische Studien gewonnen und die Möglichkeit der Synthese ihrer Ergebnisse sondiert werden. Zum Anderen sollen strahlenexponierte Studienkollektive in Deutschland identifiziert und charakterisiert werden, deren epidemiologische Untersuchung eine Quantifikation der Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen ionisierender Strahlung und der Inzidenz von Katarakt liefern kann. Darüber hinaus sind konkrete Vorschläge zum Studiendesign zu erarbeiten und die statistische Power der vorgeschlagenen Studien ist zu schätzen. Die Machbarkeitsstudie gliedert sich in 3 Arbeitspakete, wobei die Fortführung des Vorhabens nach dem 2. Arbeitspaket von dessen Ergebnis abhängt.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 LITERATURÜBERSICHT

Inhalt des ersten Arbeitspaketes war die Aufarbeitung des relevanten Standes der Wissenschaft, die Entwicklung von Qualitätskriterien zur Bewertung dieser Studien und die Definition von Kriterien für eine neue, aussagekräftige Studie.

2.2 ERMITTLUNG RELEVANTER STUDIENKOLLEKTIVE

Ziele des zweiten Arbeitspakets waren die Ermittlung relevanter strahlenexponierter Kollektive und eine erste Bewertung dieser Kollektive hinsichtlich ihrer potenziellen Eignung für eine Studie.

2.3 EINGEHENDE PRÜFUNG; STUDIENDESIGN

Im dritten Arbeitspaket sollte eine eingehende Prüfung und Bewertung der in Schritt 2 als potenziell geeignet eingestuften Kollektive erfolgen und gegebenenfalls ein Studiendesign erstellt werden.

3. METHODIK

3.1 LITERATURÜBERSICHT

Die Literaturrecherche wurde mittels festgelegter Suchkriterien in PubMed und EMBASE durchgeführt, zusätzlich wurden die Referenzlisten gefundener relevanter Publikationen einbezogen. Titel und Abstracts der Fundstellen wurden auf Grund festgelegter Ein- und Ausschlusskriterien geprüft. Eingeschlossen wurden Studien, die ionisierende Strahlung als Exposition und Katarakt als primären oder sekundären Endpunkt mit den möglichen Studiendesigns Fall-Kontrollstudien, Kohortenstudien, randomisierte, kontrollierte Studien, Querschnittsstudien oder als Fall-Serien untersuchten. Reviews zur Fragestellung wurden getrennt von Originalstudien gesammelt. Es wurden Publikationen in englischer oder deutscher Sprache bis einschließlich Februar

2010 einbezogen. Aus den Vollversionen wurden für die Fragestellung relevante Daten systematisch extrahiert. Die Publikationen und ihre Ergebnisse wurden epidemiologisch qualitativ bewertet.

3.2 ERMITTLUNG RELEVANTER STUDIENKOLLEKTIVE

Listen potenziell für eine epidemiologische Studie in Frage kommender Kollektive wurden nach Informationen aus dem deutschen Strahlenschutzregister, von Arbeitgebern, Strahlenschutzbevollmächtigten, medizinischen Fachkreisen und der Fachliteratur aus dem Arbeitspaket 1 zusammengestellt und auf ihre Eignung für entsprechende Studien anhand der im Arbeitspaket 1 ermittelten Kriterien überprüft. Zu den wichtigsten Kriterien gehören die Durchführbarkeit der Rekrutierung, die Möglichkeiten einer Dosisrekonstruktion, einer zuverlässigen Augenbefundung und der Erfassung weiterer Risikofaktoren. Die Möglichkeiten der modernen Katarakt-Diagnostik im Rahmen einer Studie wurden speziell recherchiert.

3.3 EINGEHENDE PRÜFUNG; STUDIENDESIGN

Details der Durchführbarkeit einer Studie bei den potenziell geeigneten Kollektiven werden eingehend geprüft, d. h. Fragen der Rekrutierung, der Dosimetrie, zu Fragebögen und zur Genauigkeit der Befundung des Endpunktes. Das Studiendesign wird in maßgeblichen Aspekten skizziert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 LITERATURÜBERSICHT

Unter 757 Treffern der Literatursuche und den Referenzlisten der eingeschlossenen Publikationen wurden die relevanten Arbeiten identifiziert. Die wichtigsten Studieneigenschaften wurden systematisch erhoben.

4.2 ERMITTLUNG RELEVANTER STUDIENKOLLEKTIVE

Es wurden drei Hauptgruppen von Studienkollektiven für aussichtsreich befunden: beruflich strahlenexponierte Personen, Patientenkollektive und bevölkerungsbezogene Kollektive. Innerhalb dieser Hauptgruppen wurden einzelne Kollektive hinsichtlich der Qualitätskriterien für eine neue, methodisch fundierte Studie näher beleuchtet. Die geeigneten Kollektive wurden beschrieben und Empfehlungen für eine Studie mit den am besten geeigneten Kollektiven gegeben.

4.3 EINGEHENDE PRÜFUNG; STUDIENDESIGN

Nach Zustimmung des Bundesamtes für Strahlenschutz werden die priorisierten Studienkollektive, interventionell tätige Ärzte und fliegendes Personal, eingehend geprüft und Details der Machbarkeit, insbesondere der Dosimetrie, der Erhebung der Daten und der Befundung des Endpunktes, untersucht. Zur Dosimetrie ist eine Literaturübersicht in Arbeit, Fragebögen für die Erhebung der Daten werden erarbeitet. Das Studiendesign wird in maßgeblichen Aspekten skizziert.

5. ERGEBNISSE

5.1 LITERATURÜBERSICHT

Es wurden insgesamt nur 11 epidemiologische Studien gefunden, die sich mit Strahlendosen im Bereich unterhalb von 400 mSv befassen: acht Studien zu beruflich exponierten Personen mit protrahierter Exposition (Adams et al. 1983; Chodick et al. 2008; Chylack, Jr. et al. 2009; Cucinotta et al. 2001; Jacobson 2005; Jones et al. 2007; Milacic 2009; Rafnsson et al. 2005), eine Studie zu Tschernobyl-Liquidatoren (Worgul et al. 2007), sechs populationsbezogenen Kohortenstudien mit medizinischer oder umweltbedingter Exposition der Teilnehmer (Chen et al. 2001; Day et al. 1995; Hourihan et al. 1999; Hsieh et al. 2010; Klein et al. 1993; Klein et al. 2000) und vier Publikationen zu Atombombenüberlebenden (Choshi et al. 1983; Minamoto et al. 2004; Nakashima et al. 2006; Yamada et al. 2004). Die einzelnen Studien liefern jedoch Hinweise auf eine niedrigere Schwellendosis als bis vor Kurzem von der ICRP für Strahlenschutz Zwecke (ICRP 2007) angenommen. Von der ICRP wurde daher im April 2011 in einem Statement auf der Basis der neueren epidemiologischen Befunde die Annahme zur Höhe der Schwellendosis revidiert und es wird nun für die Augenlinse von einem Schwellenwert von 0,5 Gy ausgegangen.

5.2 ERMITTLUNG RELEVANTER STUDIENKOLLEKTIVE

Unter allen anhand der erforderlichen Studienkriterien überprüften Kollektiven wurden zwei Kollektive identifiziert, die aussichtsreich erscheinen für eine epidemiologische Studie: interventionell tätige Ärzte und fliegendes Personal. Die Kollektive sind groß und in vieler Hinsicht homogen. Sie gehören zu den am höchsten exponierten Berufsgruppen. Eine zufriedenstellende Dosimetrie ist in beiden Fällen erreichbar, ebenso eine gute Katarakt-Diagnostik. Eine hohe Teilnahmebereitschaft der Probanden, vor allem seitens der interventionell tätigen Ärzte, erscheint wahrscheinlich.

Andere im Strahlenschutzregister erfasste Gruppen sind heterogener und an vielen Standorten verteilt, was einen unverhältnismäßig hohen logistischen Aufwand zur Rekrutierung und Untersuchung bedeuten würde. Bevölkerungsbezogene Kohortenstudien enthalten wenige Strahlenexponierte und bisherige Studien schlossen nur selten eine Katarakt-Untersuchung ein.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Zurzeit erfolgt die in Arbeitspaket 3 vorgesehene eingehende Prüfung der Bedingungen für die Durchführung einer Studie an den als geeignet angesehenen Kollektiven und damit verbundene Recherchen sind in Gange.

Thema

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

Subject

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

Kennzeichen

3610S30015

Beginn

01.10.2010

Ende

30.09.2013

Fördermittel

EUR 1.182.385,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Ruprecht-Karls-Universität, Kirchhoff-Institut für Physik, Heidelberg (in Kooperation mit: Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität, Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie und Radioonkologie, München; Universität der Bundeswehr, Angewandte Physik und Messtechnik, München; Technische Universität, Fachbereich Zoologie, Strahlenbiologie und DNA Reparatur, Darmstadt; Helmholtz Zentrum München, Institut für Strahlenschutz, München)

Projektleitung

Prof. Dr. M. Hausmann

Fachbetreuung BfS

Dr. U. Kulka / AG-SG 1.1

verantwortlich für den Text

Prof. Dr. M. Hausmann, Prof. Cremer, PD Dr. Friedl, Prof. Dollinger, Prof. Löbrich, Dr. Friedland

1. ZIELSETZUNG

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

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 MODELLIERUNG VON CHROMOSOMALEN BRÜCHEN IN ZELLKERNEN NACH BESTRAHLUNG UND DYNAMIK VON DOPPELSTRANGBRÜCHEN

Die Simulation der Dynamik von DSB in ganzen Zellkernen soll unter Berücksichtigung des Einflusses der chromosomalen Organisation und Struktur weiterentwickelt werden. Vorliegende Modellansätze und -rechnungen sollen insbesondere im Hinblick auf Diskrepanzen mit experimentellen Ergebnissen überprüft werden.

2.2 BEWEGLICHKEIT UND FEINSTRUKTUR VON SCHADENSINDUZIERTEN FOCI

Die Beweglichkeit von strahleninduzierten Foci als Marker für geschädigte Chromatinbereiche soll in Abhängigkeit vom linearen Energietransfer (LET) und genetischen Faktoren untersucht werden. Dies ermöglicht, Modelle zur Bildung von genetischen Defekten, z. B. der Erzeugung unterschiedlicher Chromosomenaberrationen, zu testen und weiterzuentwickeln. Des Weiteren soll die Feinstruktur der Foci nach Modulation der Focibestandteile durch Lokalisationsmikroskopie untersucht werden.

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

Reparaturkinetiken heterochromatischer DSB in Abhängigkeit von der Resektion der DSB-Enden in G1-Phase Zellen und der Einfluss auf die Reparatur in Bezug auf chromosomale Translokationen als Marker für eine Fehlreparatur sollen untersucht werden.

2.4 MOLEKULARE LOKALISATIONSMIKROSKOPIE ZUR CHARAKTERISIERUNG VON CHROMATINSTRUKTUR- UND -KONFORMATIONSÄNDERUNGEN

Es soll die hochauflösende Lokalisationsmikroskopie entwickelt und eingesetzt werden, um die Veränderung von Nukleosomenverteilungen in Zellkernen und die räumliche Struktur von Bruchpunkregionen vor und nach Strahlenexposition zu untersuchen.

3. METHODIK

3.1 MODELLIERUNG VON CHROMOSOMALEN BRÜCHEN IN ZELLKERNEN NACH BESTRAHLUNG UND DYNAMIK VON DOPPELSTRANGBRÜCHEN

Basierend auf dem Spherical 1-Mbp Chromatin Domain (SCD) Modell werden Simulationen von Zellkernen mit DSB sowie die Integration des chromosomalen Bandenmusters durch Variation der Domäneneigenschaften durchgeführt. Es werden Modellrechnungen zu DNA-Reparaturprozessen nach Photonen- und Ionenbestrahlung unter Variation von Parametern durchgeführt und die Resultate mit experimentellen Daten verglichen.

3.2 BEWEGLICHKEIT UND FEINSTRUKTUR VON SCHADENSINDUZIERTEN FOCI

Nach Mikrobestrahlung mit Ionen unterschiedlichen LETs soll die Beweglichkeit der Foci während der nachfolgenden Inkubation mittels Immunfluoreszenz und live-cell imaging bestimmt werden. Dazu werden unterschiedliche Bestrahlungsmuster mit hoch-LET Strahlung (55 MeV Kohlenstoffionen) und niedrig-LET Strahlung (20 MeV Protonen) am Mikrostrahl SNAKE des Tandembeschleunigers in Garching appliziert und die Relativbewegung der durch die Bestrahlung induzierten Foci bestimmt. Um den Einfluss genetischer Faktoren auf die Foci-Beweglichkeit zu testen, werden verschiedene Kandidatengene durch Ribonukleinsäure-Interferenz (RNAi) herunter reguliert. Die Feinstruktur Ionen-induzierter Foci soll mittels Lokalisationsmikroskopie bestimmt werden, wobei durch RNAi die Focibildung so moduliert werden soll, dass die Auflösung verbessert wird. Die Feinstruktur der Foci soll auch im Hinblick auf die Untersuchung der Kolo-kalisation unterschiedlicher Reparaturfaktoren bestimmt und in unterschiedlichen Chromatinbereichen untersucht werden.

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

siRNA (small inhibitor ribonucleic acid)-Technologie in Tumorzellen und primären Fibroblasten sowie zytogenetische Techniken, wie Premature Chromosome Condensation (PCC), werden etabliert.

3.4 MOLEKULARE LOKALISATIONSMIKROSKOPIE ZUR CHARAKTERISIERUNG VON CHROMATINSTRUKTUR- UND -KONFORMATIONSÄNDERUNGEN

Es werden Zellsysteme etabliert, bei denen die Nukleosomen mittels Green Fluorescent Protein (GFP) markiert sind. Ebenso werden Markierungsverfahren mittels kombinatorischer Oligonukleotide etabliert, die es erlauben, Chromatinnanostrukturen zu detektieren. Mit Hilfe der molekularen Nanoskopie werden fluoreszente Moleküle in Zellen zu reversiblen Photobleichen angeregt, das als „Blinken“ erscheint und so die optische Isolation und Positionierung einzelner Moleküle ermöglicht. Damit können Moleküle auf wenige Nanometer genau lokalisiert und molekulare Distanzen im Bereich von 10 nm bestimmt werden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 MODELLIERUNG VON CHROMOSOMALEN BRÜCHEN IN ZELLKERNEN NACH BESTRAHLUNG UND DYNAMIK VON DOPPELSTRANGBRÜCHEN

Es wurde untersucht, welche Modellansätze und -parameter den Anteil von unverbundenen Enden von DNA-DSB nach längerer Reparaturzeit beeinflussen und dabei Diskrepanzen früherer Rechnungen zu experimentellen Daten aufheben können, die in Bezug auf diesen Endpunkt sowohl bei Photonen mit niedriger Dosis als auch bei Ionenstrahlen unterschiedlicher Energie aufgetreten waren. Speziell wurden auch erste Simulationen von Doppelstrangbrüchen auf Chromosom 9 (abl-Region) und 22 (bcr-Region) gestartet.

4.2 BEWEGLICHKEIT UND FEINSTRUKTUR VON SCHADENSINDUZIERTEN FOCI

Im Berichtszeitraum wurden funktionelle Tests an Zelllinien durchgeführt, die 53BP1-GFP, Mdc1-GFP oder Rad52-GFP exprimieren. Tests für geeignete Antikörper für die Lokalisationsmikroskopie wurden in Zusammenarbeit mit dem Kirchhoff-Institut begonnen; dabei wurden auch erste Experimente zur Focibewegung und -feinstruktur nach Schwerionenbestrahlung durchgeführt. Mit der Etablierung der RNAi-Technologie zur Herunterregulierung von Ku80, WSTF1, Mre11 und Rad50 wurde begonnen.

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

Verschiedene Zelllinien (Tumorzellen und primäre Fibroblasten) wurden zur Etablierung der RNAi-Technologie mit verschiedenen siRNAs transfiziert. Immunfluoreszenz-mikroskopisch wurden DSB-Reparaturkinetiken analysiert. Es wurden verschiedene Ansätze zur Etablierung der PCC-Methode speziell für G1-Phase Zellen getestet.

4.4 MOLEKULARE LOKALISATIONSMIKROSKOPIE ZUR CHARAKTERISIERUNG VON CHROMATINSTRUKTUR- UND -KONFORMATIONSÄNDERUNGEN

Zusammen mit der Ludwig-Maximilians Universität und der Universität der Bundeswehr, München wurden erste orientierende Messungen zu Focistrukturen und -dynamik mittels Lokalisationsmikroskopie / Nanoskopie durchgeführt. Ebenso wurden Messungen zur Nukleosomenverteilung in Zellkernen durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

5.1 MODELLIERUNG VON CHROMOSOMALEN BRÜCHEN IN ZELLKERNEN NACH BESTRAHLUNG UND DYNAMIK VON DOPPELSTRANGBRÜCHEN

Eine Optimierung des Algorithmus brachte eine Beschleunigung der Brownschen-Dynamik-Simulation von ca. 20%. Eine erhöhte Beweglichkeit der Domänen an den Bruchstellen im Vergleich zu intakten Chromosomen konnte gezeigt werden. Modellrechnungen ergaben, dass die Limitierung des Bewegungsraums von unverbundenen DNA-Enden geeignet ist, deren Anteil mit zunehmender Dosis bei Photonenbestrahlung im Einklang mit gemessenen Daten ansteigen zu lassen. Der damit einhergehende Anstieg von DNA-Fehlverbindungen hinterlässt einen wachsenden Anteil von DNA-Enden, die auf Grund geometrischer Randbedingungen nicht oder nur schwer mit anderen DNA-Enden verknüpft werden können. Um den zunehmenden Anteil unverbundener DNA-Enden bei wachsendem LET einer Ionenbestrahlung im Modell wiederzugeben, wurde eine mögliche Blockade der Verbindung von DNA-Enden mit komplexen Schadensmustern eingeführt.

5.2 BEWEGLICHKEIT UND FEINSTRUKTUR VON SCHADENSINDUZIERTEN FOCI

Es sind noch keine ausgewerteten Ergebnisse verfügbar.

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

Es konnten die verschiedenen getesteten Zelllinien erfolgreich mittels RNAi-Technologie transfiziert werden, um bestimmte Zielfaktoren in den Zellen herunter zu regulieren. Es konnten anfängliche Experimente zur Bestimmung von DSB-Reparaturkinetiken durchgeführt und immunfluoreszenz-mikroskopisch analysiert werden.

5.4 MOLEKULARE LOKALISATIONSMIKROSKOPIE ZUR CHARAKTERISIERUNG VON CHROMATINSTRUKTUR- UND -KONFORMATIONSÄNDERUNGEN

Die Anwendbarkeit der Lokalisationsmikroskopie auf die Analyse von Focifeinstrukturen und -dynamik konnte gezeigt werden. Ebenso wurden bildanalytische Ansätze zur systematischen Auswertung von Lokalisations- und Distanzmessungen beschleunigt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

6.1 MODELLIERUNG VON CHROMOSOMALEN BRÜCHEN IN ZELLKERNEN NACH BESTRAHLUNG UND DYNAMIK VON DOPPELSTRANGBRÜCHEN

Die Modellentwicklung wird entsprechend dem Arbeitsprogramm fortgeführt mit folgenden Zielrichtungen:

- Weiterentwicklung des Chromatinmodells unter Berücksichtigung von heterochromatischen und euchromatischen Regionen des Zellkerns,
- Konzeption der Modellierung von Chromosomenaberrationen unterschiedlichen Typs,
- Erweiterung des DNA-Reparaturmodells um die Beschreibung der Dynamik von Reparaturfoci und
- vergleichende Simulationen zwischen Tumor und normalen Zellen nach Implementierung des Bandenmusters in das Simulationsmodell.

6.2 BEWEGLICHKEIT UND FEINSTRUKTUR VON SCHADENSINDUZIERTEN FOCI

Geplant sind:

- Komplettierung des Sets an Zelllinien, die fluoreszenzmarkierte Focibildner exprimieren;
- Optimierung der siRNA-Methodik und Untersuchung des Einflusses der Herunterregulation von Kandidatenproteinen auf die Focistruktur und Beweglichkeit;
- Durchführung weiterer Bestrahlungsexperimente;
- Entwicklung von Bildverarbeitung und Auswertung der Focibewegung nach hoch- und niedrig-LET-Bestrahlungen und nach Modifikation der DNA-Struktur;
- Weiterführung der Lokalisationsmikroskopie zur Focifeinstruktur.

6.3 CHARAKTERISIERUNG DER REPARATUR VON HETEROCHROMATISCHEN DNA-DOPPELSTRANGBRÜCHEN IN G1-PHASE ZELLEN

Die Reparaturmessungen und Etablierungen werden fortgeführt:

- Bestimmung der DSB-Reparaturkinetik zur Untersuchung der Wahl des Reparaturweges heterochromatischer Brüche (Tumorzellen, primäre Fibroblasten);
- Entwicklung zytogenetischer Techniken (PCC-Methode in Kombination mit Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung).

6.4 MOLEKULARE LOKALISATIONSMIKROSKOPIE ZUR CHARAKTERISIERUNG VON CHROMATINSTRUKTUR- UND -KONFORMATIONSÄNDERUNGEN

Entsprechend dem Arbeitsplan sind systematische Messungen mittels Lokalisationsmikroskopie zur Strukturverteilung von Nukleosomen vor und nach Bestrahlung vorgesehen.

Thema

Beschreibung der Schadensmechanismen durch Auger-Emitter auf zellulärer Ebene und Entwicklung von neuen Strahlenschutzkonzepten unter Berücksichtigung der Abhängigkeit des Strahlenrisikos von der Dosisleistung

Subject

Characterization of Auger emitter-induced radiotoxic effects on the cellular level and the development of new radiation protection concepts considering the radiation risk as a function of the dose rate

Kennzeichen
3608S03002

Beginn
01.07.2008

Ende
30.06.2011

Fördermittel
EUR 273.107,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Forschungszentrum Jülich, Geschäftsbereich Sicherheit und Strahlenschutz

Projektleitung

Dr. R. Kriehuber, Dr. E. Pomplun

Fachbetreuung BfS

Dr. D. Noßke / AG-SG 2.2

verantwortlich für den Text

Dr. R. Kriehuber, Dr. E. Pomplun

1. ZIELSETZUNG

In zwei humanen Zelllinien sowie im pUC19-Plasmidmodell soll geklärt werden, inwieweit eine unterschiedliche Dosisleistung beim Zerfall von Auger-Elektronen-Emittern auftretende Schadensmuster beeinflusst. Dazu sollen unterschiedliche biologische Endpunkte qualitativ und quantitativ untersucht werden. Zusätzliche Genexpressionsanalysen sollen darüber Aufschluss geben, inwieweit sich die Dosisleistung auf die Aktivierung verschiedener Gengruppen auswirkt. Im Mittelpunkt des modelltheoretischen Teils stehen zum einen Simulationen von Strangbrüchen im pUC19-Plasmidmodell sowie dazugehörige Energiedepositionsberechnungen. Darüber hinaus soll die Möglichkeit einer Coulomb-Explosion und deren molekulare Folgen untersucht werden.

Die experimentellen und modelltheoretischen Untersuchungen sollen dazu dienen, die Auswirkung des Dosisleistungseffektes auf zelluläre Systeme *in vitro* besser zu beschreiben, dessen zellphysiologischen Ursachen zu erhellen und darüber hinaus dazu beitragen, die Bedeutung des Dosisleistungseffektes für den Strahlenschutz zu klären.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 EXPERIMENTELL

„Uptake“-Experimente sowie 3-D-Zellvermessungen in synchronisierten SCL-II- und Nieren-T1-Zellen sollten dazu dienen, die Aufnahme von I-125 als 5-Jododesoxyuridin (I-UdR) in die Zellen und die Einbaurrate von I-125-UdR in die DNA (Desoxyribonukleinsäure) zu ermitteln und zu modellieren, um hierüber die Dosimetrie auf zellulärer Ebene zu ermöglichen. Zur Quantifizierung der Gen- und Cytotoxizität von I-125- und I-123-UdR wurde die Mikrokernrate in beiden Zelllinien bestimmt sowie die Zellzyklusverteilung und die Apoptoseinduktion zu drei verschiedenen Zeitpunkten nach Exposition (0, 8 und 24 h) ermittelt. Die Chromatinschädigung nach Exposition mit I-125- und I-123-UdR sollte mittels Comet-Assay erfasst und Untersuchungen zu zellkulturmedium-vermittelten Bystander-Effekten (Apoptose und Mikrokernbildung) durchgeführt werden. Des Weiteren sollte untersucht werden, inwieweit sich Genexpressionen nach chronischer Exposition mit Auger-Elektronen-Emittern von denen nach akuter Exposition mit Hoch- und Niedrig-LET (linearer Energietransfer)-Strahlung unterscheiden.

2.2 MODELLTHEORETISCH

Sowohl für die Planung der Experimente wie auch für die Interpretation der dabei gewonnenen Ergebnisse ist im hier vorliegenden Fall einer Strahlung mit extrem kurzer Reichweite eine Dosimetrie auf zellulärer bzw. subzellulärer Ebene unerlässlich. Dazu sollen mittels Monte-Carlo-Simulationen Elektronen-Spektren der experimentell eingesetzten Auger-Emitter generiert und mittels sog. Point Kernels die Energiedepositionen und damit die Dosis in Kugelvolumina unterschiedlicher Größe bestimmt werden.

3. METHODIK

3.1 EXPERIMENTELL

Die morphometrischen Untersuchungen wurden mittels konfokaler Mikroskopie durchgeführt. Die cyto- und gentoxischen Effekte wurden mittels Annexin-V-FITC/PI-Apoptose-Assay respektive Cytochalasin-B Mikrokern-Assay und alkalischem Comet-Assay quantifiziert. Die Genexpressionsstudien wurden mittels 44 k whole human genome arrays auf der Agilent-Plattform durchgeführt und analysiert. Zur Untersuchung von Bystander-Effekten wurden Zellkulturüberstände von extern Gamma-bestrahlten (Cs-137) und I-123-UdR- sowie I-125-UdR- exponierten Zellen gewonnen, diese bei -80°C für mehrer Wochen gelagert um mögliche Restaktivität abklingen zu lassen und damit unbestrahlte Zellen bis zu 2 Tagen konfrontiert. Die Zellzyklusanalysen wurden durchflusszytometrisch unter Zuhilfenahme geeigneter DNA-Farbstoffe sowie des EdU-Klick assays durchgeführt.

3.2 MODELLTHEORETISCH

Mittels eigenentwickelter Monte-Carlo Computer Codes wurden Auger-Elektronen-Spektren sowie Ionisationsstufen nach Photoeffekt in atomaren Gasatomen sowie nach Elektronen-Einfang und innerer Konversion in zwei Jod-Nukliden simuliert. Diese Spektren bildeten die Basis für eine anschließende Dosimetrie auf zellulärer bzw. subzellulärer Ebene mittels sogenannter Point Kernels.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 EXPERIMENTELL

Für die Markierung wurden synchronisierte Zellen mit verschiedenen Aktivitätskonzentrationen von I-125-UdR (0,5 - 50 kBq/ml) für 14 - 20 h inkubiert. Nach Ende der Inkubationszeit sowie zu allen Zeitpunkten, an denen cyto- und gentoxische Effekte bestimmt wurden, wurden die Zellzahlen ermittelt sowie die Aktivität in den Zellen gemessen. Die Aktivitätsaufnahme in isolierter DNA wurde in eigenständigen Messreihen untersucht. Mittels konfokaler Mikroskopie und unter Zuhilfenahme geeigneter Fluorochrome wurden Zell- und Zellkernvolumen als Grundlage für die zelluläre Dosimetrie ermittelt. Die Mikrokernraten wurden mittels Cytochalasin-B-Mikrokern-Assay für verschiedene Konzentrationen von I-123- und I-125-UdR (0,5 - 48 kBq/ml) in jeweils > 3000 binukleären Zellen pro Konzentrationswert und Einzelmesspunkt automatisiert (Metafer4 plus Softwareerweiterung für Erfassung von Mikrokernen, MetaSystems) bestimmt.

Chromatinschädigungen wurden im alkalischen Comet-Assay untersucht, wobei zur Quantifizierung der Kometen der aussagekräftige Parameter „% DNA in tail“ herangezogen wurde. Die Auswertung erfolgte ebenfalls automatisiert (MetaSystems), es wurden zwischen 100 und 300 Kometen pro Aktivitätskonzentrationswert analysiert. Apoptosebestimmungen wurden durchflusszytometrisch mittels Annexin-V-FITC/PI-Assay durchgeführt, wobei Zellen, welche nur ein Annexin-V-Signal tragen (Nachweis von Phosphatidylserin auf der Außenseite der Membran) als „frühe Apoptosen“ und Zellen, die zusätzlich zum Annexin-V-Signal eine DNA-Anfärbung zeigten, als „sekundäre Apoptosen / Nekrosen“ definiert wurden. Zellzyklusanalysen wurden ebenfalls mittels Durchflusszytometrie durchgeführt. Fixierte Zellen wurden hierbei, nach DNA-Färbung, über ihren DNA-Gehalt (Intensität des Signals der DNA-Färbung in Einzelzellen) unter Zuhilfenahme geeigneter Software (BD Diva und Modfit) in G1-, S- und G2/M-Zellen diskriminiert. Auf Grund der zeitlichen Veränderung des prozentualen Anteils von Zellen in den jeweiligen Zellzyklusphasen nach Exposition mit I-123- und I-125-UdR wurden Aussagen über die dosis- und dosisratenabhängige Intensität sowie über die Zeitkinetik der induzierten Zellzyklusarrests getroffen. Es wurden Genexpressionsstudien mittels 44k whole human genome arrays auf der Agilent-Plattform durchgeführt und analysiert. Zur Untersuchung von Bystander-Effekten wurden Zellkulturüberstände von extern Gamma-bestrahlten (Cs-137) und I-123-UdR- sowie I-125-UdR-exponierten Zellen gewonnen. Nichtexponierte Zellen wurden mit diesen Bystander-Überständen für 24 und 48 h konfrontiert und die Mikrokernbildung sowie die Apoptoseinduktion wurden quantitativ erfasst.

4.2 MODELLTHEORETISCH

In der Literatur finden sich zahlreiche Monte-Carlo basierte Computer-Codes zur Simulation von intra-atomaren Auger-Elektronen-Übergängen, aus denen sich Elektronenspektren für individuelle Zerfälle herleiten lassen. Das eigene, hier verwendete Programm unterscheidet sich von allen anderen durch die Art der Berechnung der kinetischen Elektronenenergie. Um diesen Code weiter zu validieren, wurden mit ihm photonen-induzierte Auger-Übergänge in den drei Edelgasen Argon, Krypton und Xenon für unterschiedliche Photonenenergien simuliert, aus denen Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Ionisierungsstufen gewonnen werden

konnten. Diese wiederum konnten mit entsprechenden experimentellen Edelgasdaten aus der Literatur verglichen werden.

Auf der Basis der so validierten Computer-Programme wurden neue Spektren für I-125 und I-123 generiert. Insbesondere für letzteres war ein Update älterer Daten erforderlich, die noch auf der Basis von Interpolationen vorberechneter Elektronen-Energieniveaus beruhten. Um statistisch abgesicherte mittlere Spektren zu erhalten, wurden für beide Jodisotope jeweils 10.000 Zerfälle gerechnet.

Mit diesen mittleren Spektren wiederum wurde dann, unter der Annahme einer räumlichen Gleichverteilung der Nuklide innerhalb der untersuchten Zellen, mit Hilfe von Point Kernels die Energiedeposition in Kugelvolumina berechnet. Aus diesen Daten ließen sich dann für verschieden große Zell- bzw. Zellkernvolumina entsprechende Dosiswerte abschätzen.

5. ERGEBNISSE

5.1 EXPERIMENTELL

Nach Zugabe einbaufördernder Additive konnte eine zelluläre Aufnahme (Zellpellet) von I-125-UdR von bis zu 55% der ursprünglich zugegebenen Aktivität in beiden Zelllinien beobachtet werden, wobei die Nieren-T1-Zellen nach 7 h maximal und die SCL-II-Zellen nach 13 h ausreichend markiert waren. Bis zu 88% der im Zellpellet festgestellten Aktivität war nach DNA-Isolation in der isolierten DNA nachweisbar (DNA-assoziierte Aktivität).

Die Mikrokernrate in I-123- und I-125-UdR markierten SCL-II-, Nieren T1- und Jurkat- Zellen war gegenüber den mit kaltem I-UdR behandelten Kontrollen signifikant erhöht, wobei die Aktivitäts-Wirkungskurve ab 200 (I-125-UdR) respektive 150 (I-123-UdR) akkumulierter Zerfälle in eine Plateauphase überging und dabei ein Niveau erreichte, das vergleichbar mit 1,5 Gy akuter externer Gamma-Bestrahlung (Cs-137) war. Die Aktivitäts-Wirkungskurve in SCL-II-Zellen war für I-125-UdR im Vergleich zu I-123-UdR bei vergleichbaren akkumulierten Zerfällen sehr ähnlich. Der Mikrokernanstieg nach I-123-UdR war bereits bei kleineren Dosen zu beobachten.

Die Zellzyklusanalysen zeigten bei SCL-II- und Nieren T1-Zellen bereits bei geringsten Aktivitätskonzentrationen von I-123- und I-125-UdR einen sehr deutlichen G2/M-Arrest. Dieser war bis zu einer eingesetzten Gesamtaktivität von 16 kBq I-123-UdR und bis zum Untersuchungszeitpunkt 48 h nach Ende der Exposition reversibel. Die Ausprägung des G2/M-Arrests, d. h. der prozentuale Anteil an G2-Zellen in den Kulturen, war für beide Nuklide identisch und bei SCL-II-Zellen mit ca. 8 Gy akuter externer Cs-137-Gamma-Bestrahlung vergleichbar. Bereits bei Aktivitätskonzentrationen von 1 kBq/ml I-125-UdR war dieser Effekt deutlich nachzuweisen.

In beiden Zelllinien wurde nach Markierung mit I-123- und I-125-UdR Apoptose induziert. Diese war unmittelbar nach Markierungsende in SCL-II Zellen bei I-125-UdR wesentlich stärker ausgeprägt als bei I-123-UdR. Zu späteren Zeitpunkten (6 und 24 h nach Markierungsende) waren keine signifikanten Änderungen der Apoptoseraten feststellbar.

Im alkalischen Comet-Assay zeigte sich in Nieren-T1-Zellen, dass bei Aktivitätskonzentrationen von 4 und 8 kBq/ml I-125-UdR vergleichbare Chromatinschädigungen („% DNA in tail“) wie nach 8 Gy akuter externer Gamma-Exposition auftraten. In SCL-II-Zellen ergab die vergleichende Analyse der Daten, dass I-125-UdR eine tendenziell höhere Chromatinschädigung induziert als I-123-UdR.

Erste Genexpressionsanalysen bei vergleichbarer Dosis zeigten, dass nach Exposition mit Auger-Elektronen-Emittern im Vergleich zu Gamma-Bestrahlung wesentlich mehr Gene signifikante Expressionsänderungen aufweisen.

Experimente zu zellkulturmedium-vermittelten Bystander-Effekten (Apoptose und Mikrokernbildung) ergaben keine signifikanten Unterschiede zu unbestrahlten Kontrollen.

5.2 MODELLTHEORETISCH

Die Validierung des Monte-Carlo-Programms zur Generierung von Auger-Elektronen-Spektren zeigte insgesamt eine sehr gute Übereinstimmung mit den experimentellen Literaturdaten zum Ionisationspotential von Edelgasatomen nach Photonen-induzierter Auger-Kaskade. Insbesondere konnte die Bedeutung der Shake-off-Elektronen für die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Ionisationsstufen gezeigt werden. Darüber hinaus erwies sich die Bestimmung der kinetischen Elektronenergie mittels der sog. (Z+1)-Näherung, wie sie in den anderen Simulationsprogrammen verwendet wird, als sehr ungenau und führt sowohl zu starken Ab-

weichungen bei den Häufigkeitsverteilungen gegenüber den experimentellen Befunden sowie zu Fehlern in der Gesamt-Energiebilanz.

Nach der somit erfolgreichen Validierung der Modelle erschien es gerechtfertigt, denselben Monte-Carlo-Ansatz auch für solche Nuklide anzuwenden, für die keine experimentellen Vergleichsdaten zur Verfügung stehen. Auf dieser Basis wurden durch Elektronen-Einfang und interne Konversion induzierte Auger-Kaskaden in I-123 und I-125 gerechnet. Für I-123 ergab sich eine mittlere Anzahl von 7,4 pro Zerfall emittierter Elektronen (einschließlich 0,9 Shake-off- und 0,13 Konversionselektronen) mit einem Maximum von 25 Elektronen. Die geringen Unterschiede zu früheren Untersuchungen (7,6 Elektronen pro Zerfall) sind den vorberechneten Energieniveaus geschuldet, die früher benutzt wurden. Ein mittleres Ionisationspotential von 0,57 keV bleibt nach dem Ende der Kaskade auf dem I-123-Atom und führt vermutlich zu Ladungstransfers im Falle eines molekularen Einbaus des Nuklids. Die entsprechenden Werte für I-125 liegen deutlich niedriger als bei früheren Simulationen: während mit vorberechneten Energieniveaus im Mittel 15 emittierte Elektronen pro Zerfall gefunden wurden, sind es jetzt 12,9 (einschließlich 1,5 Shake-off-Elektronen) mit einem Maximum von 28 Elektronen und einem Ladungspotential von 1,0 keV.

Auf der Basis von Point-Kernel-Rechnungen wurden sowohl Energiedepositionen wie auch Dosiswerte für kugelförmige Zellkern- und Zellvolumina bei Gleichverteilung der Radionuklide innerhalb solcher Volumina bestimmt. Beispielsweise ergaben sich für Kugeldurchmesser von 10 μm (Zellkern) bzw. 14 μm (Zelle) infolge eines I-123-Zerfalls absorbierte Energien von 4,6 bzw. 5,1 keV sowie daraus resultierende Dosen von 1,0 bzw. 0,6 mGy. Die entsprechenden Werte nach I-125-Zerfall ergaben sich zu 11,0 bzw. 12,1 keV sowie 2,5 bzw. 1,4 mGy.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

6.1 EXPERIMENTELL

Die Aufnahmekinetiken für beide untersuchte Nuklide (I-123 und I-125) sollen weiter verfeinert werden, um hierüber die Bestimmung der akkumulierten Zerfälle zu den verschiedenen Versuchszeitpunkten zu präzisieren. Die Untersuchungen zur Mikrokernbildung und Chromatinschädigung sowie zur Apoptoseinduktion sollen für Nieren-T1-Zellen, speziell für das Nuklid I-123, vervollständigt werden. Auch für SCL-II-Zellen stehen noch abschließende Experimente zu diesen drei biologischen Endpunkten aus. Zudem sollen die Zellzyklusanalysen zu späteren Untersuchungszeitpunkten hin ($>> 24$ h) ausgedehnt werden, da es von großem Interesse ist, wann und ob der massive G2/M-Zellzyklusarrest aufgelöst wird. Mikrokernexperimente mit ausgesetzten Aktivitätskonzentrationen sollen wiederholt werden, wobei der Untersuchungszeitpunkt ebenfalls zu späteren Zeitpunkten ($>> 40$ h) hin verschoben werden soll, um mögliche Artefakt durch den ausgeprägten G2/M-Arrest auszuschließen. Die exakten Untersuchungszeitpunkte sollen in Abstimmung mit den Ergebnissen der erweiterten Zellzyklusuntersuchungen festgelegt werden.

Darüber hinaus sollen die Untersuchungen zur Strangbruchhäufigkeit in isolierter Plasmid-DNA und in synthetisierten DNA-Molekülen durchgeführt werden. Zuletzt soll die Datenanalyse der Genexpressionsuntersuchungen vervollständigt sowie erste Publikationen vorbereitet werden.

6.2 MODELLTHEORETISCH

Um die besondere Toxizität DNA-inkorporierter Auger-Emitter zu quantifizieren, sollen Bahnschleifen von Elektronen aus individuellen Zerfällen gerechnet werden, die dann mit Plasmidmodellen überlagert werden, um Schäden auf molekularer Ebenen simulieren zu können. Dabei soll die Ausbeute an Einzel- und Doppelstrangbrüchen ermittelt und die Anteile der direkten und der indirekten Strahleneffekte abgeschätzt werden.

Thema Entwicklung strahleninduzierter DNA-Schäden während der S-Phase des Zellzyklus			
Subject <i>Processing of radiation-induced DNA damage during the replicative S-phase of the cell cycle</i>			
Kennzeichen 3610S30016	Beginn 15.09.2010	Ende 31.08.2013	Fördermittel EUR 1.334.840,-
Forschungs- / Auftragnehmer Heinrich-Pette-Institut (HPI), Leibniz-Institut für Experimentelle Virologie, Hamburg			
Projektleitung Dr. I. Dornreiter	Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.1	verantwortlich für den Text Dr. I. Dornreiter	

1. ZIELSETZUNG

Ziel dieses Verbundprojektes ist die Aufklärung der Signalkaskaden, die nach ionisierender Bestrahlung (IR) von S-Phase Zellen die DNA (Desoxyribonukleinsäure)-Replikation- und Reparaturvorgänge koordinieren und den Erhalt der genomischen Stabilität gewährleisten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben beinhaltet folgende Einzelzielsetzungen:

- Aufklärung der durch die Phosphoinositid-3-Kinasen (PIKK) ATM (Ataxia telangiectasia mutated)/ATR (ATM und Rad3-related Protein)-induzierten Signalkaskaden in deren Folge die DNA-Reparatur- und Replikationsereignisse bestrahlter früh sowie spät replizierender S-Phase-Zellen koordiniert werden;
- Aufschlüsselung des Einflusses singular induzierter DNA-Läsionen auf die Aktivierung der DNA-Schadensantwort im Vergleich zur multiplen Reaktion, die nach Bestrahlung beobachtet wird;
- Aufklärung der Funktion der Mediatorproteine Mdc1 und 53BP1 bei den beiden Hauptwegen der DSB (double-strand breaks)-Reparatur homologe Rekombination (homologous recombination, HR) und nicht-homologe Enden-Verknüpfung (non-homologous end joining, NHEJ);
- Aufklärung der direkten Bedeutung der durch ionisierende Bestrahlung induzierten Zellzykluskontrolle auf die Regulation der Initiations- und Elongationsphasen der Replikation.

3. METHODIK

Alle erforderlichen Techniken, die zur Durchführung des Verbundprojektes benötigt werden sind weitgehend in allen Laboren der Verbundpartner etabliert. Spezielle Methoden sowie Reagenzien, die nicht in allen teilnehmenden Arbeitsgruppen etabliert bzw. verfügbar sind, werden allen Verbundpartnern zur Verfügung gestellt.

3.1 DNA-SCHADENSINDUKTION

- Ionisierende Bestrahlung: Ionenmikrobestrahlungseinrichtung SNAKE¹⁾, Cs-137 Quelle (BD (base damage) + SSBs (single-strand breaks) + DSBs);
- Reagenzien: Wasserstoffperoxid (BD und SSBs), Topoisomerase I Inhibitor Topotecan (SSBs, Spaltungskomplexe) Eneidiyene-Antibiotikum Calicheamicin γ (DSBs, +Apurinic-site), Endonuklease I-SceI (DSBs).

3.2 ZELLBIOLOGISCHE / MOLEKULARBIOLOGISCHE / IMMUNOLOGISCHE ANALYSE

- Synchronisationsmethode: Isoleucinentzug;
- Zellzyklusprogression: fluoreszenzaktivierte Zellanalyse (FACS), EdU-Einbau, Western Blot;
- Identifizierung Zellzyklusposition: EdU (5-Ethynyl-2'-desoxyuridin)-Einbau, CENP-F (centromer protein F) Färbung;

¹⁾ Supraleitendes Nanoskop für angewandte kernphysikalische Experimente

- Aktivierung der ATM (Ataxia telangiectasia mutated) / ATR (ATM and Rad3 related)-vermittelten Kontrollpunkte: Phosphorylierung der nachgeschalteten Kontrollpunktkinasen Chk2 / Chk1 (Checkpoint Kinase) und Chk2 / Chk1-katalysierte Phosphorylierung von Substraten;
- Expression und Modifikation: Western Blot, phosphorylierungsspezifische Antikörper;
- Protein-Protein Interaktion: Immunpräzipitation-Western Blot Analyse;
- Nachweis DNA-Schäden: Immunfluoreszenzfärbung zum Nachweis von Histoprotein (γ H2AX);
- Evaluierung von Reparaturzentren als Funktion der Zeit: Konfokale Laser Mikroskopie mit statistischer Auswertung mittels semi-automatischer sowie automatischer (High-Content-zelluläre Bildgebung) Auszählung;
- Replikationsaktivität: EdU- und/oder BrdU-Einbau;
- Nachweis von HR (Homologe Rekombination)-spezifischen Reparaturzentren: Herstellung von BRCA2 (breast cancer associated) spezifischen Antikörpern.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ZELLSYSTEM UND INAKTIVIERUNG ENDOGENER KOMPONENTEN DER SCHADENSIGNALKASKADE

Für die Experimente soll die gut charakterisierte Wildtyp (wt) p53 CV-1 Zelllinie (diploide, nicht transformierte Epithelnierenzelle der afrikanischen grünen Meerkatze) sowie die kürzlich etablierten Doxycyclin (Dox)-induzierbaren wtp53 TO-CV-1 Zelllinien (TO=„tet on“) verwendet werden. Im Gegensatz zu den häufig verwendeten transformierten humanen Zelllinien (z. B. HeLa, 293) ist in den immortalisierten CV-1 Zellen die zeitlich definierte Aktivierung der frühen sowie späten Replikationsursprünge intakt und erlaubt auf Grund des charakteristischen Replikationsmusters die Identifizierung von frühen und späten S-Phase Zellen. Ein weiterer Vorteil ist, dass ausgewählte endogene Faktoren durch Dox-induzierte dominant-negative Inhibition oder shRNA (short-hairpin-ribonucleic acid)-vermittelten Knockdown herunter-reguliert und so in einem isogenen Zellsystem untersucht werden können. Darüber hinaus können CV-1 Zellen durch den Entzug von Isoleucin in der pseudo-G0-Phase angehalten werden und durch Austausch mit vollständigem Medium aus diesem Arrest synchron entlassen werden. Der Vorteil dieser Synchronisationsmethode gegenüber anderen liegt darin, dass essenzielle Komponenten des DDR (DNA damage response) nicht vorzeitig aktiviert werden und darüber hinaus die für die Replikations- sowie Reparaturprozesse essenziellen Polymerasen α , δ und ϵ (z. B. Aphidicolin / Mimosin-Methode) zu keinem Zeitpunkt in ihrer Aktivität beeinträchtigt werden.

4.2 UNTERSUCHUNG DER DURCH IONISIERENDE BESTRAHLUNG AKTIVIERTE SIGNALKASKADEN ALS FUNKTION DER ZEIT UND IN RELATION ZUM ZELLYKLUS

Die Aktivierung von ATM und/oder ATR-vermittelter Signalkaskaden soll zu verschiedenen Zeitpunkten nach ionisierender Bestrahlung in CV-1 und TO-CV-1 Zellen untersucht werden. Die Expression und Phosphorylierung der Signalgeber ATM, ATR, der Effektoren Chk1, Chk2, p53, Δ p53, sowie weiterer Zellzyklus regulierender Faktoren wie Cycline, Cdks, Cdc25-Phosphatasen und entsprechender Faktoren, die den Eintritt in die S-Phase (Cdt1 anwesend), S-Phase (Cdt1 abwesend), sowie den Beginn der „Origin“-abhängigen Replikation (Geminin) und der Mitose (phosphoryliertes H3) nachweisen, sollen sowohl in der löslichen Fraktion als auch in der Chromatinfraktion mittels Western Blot untersucht werden.

4.3 UNTERSUCHUNG DER DNA-REPARATUR- UND REPLIKATIONSPROZESSE NACH IONISIERENDER BESTRAHLUNG REPLIZIERENDER S-PHASE ZELLEN

DSBs und HR sollen mittels Immunfluoreszenzfärbung als Funktion der Position im Zellzyklus untersucht werden. Zur Feststellung, ob sich die Zellen sowohl zum Zeitpunkt der Bestrahlung als auch zu definierten Zeiten nach Bestrahlung in der replikativen S-Phase befinden, sollen die Zellen 30 min vor Bestrahlung mit EdU und 30 min vor der Evaluierung mit BrdU (5-Bromo-2'-desoxy-uridin) inkubiert werden. Darüber hinaus sollen die Zellen mit dem S/G2- und G2-Phase Indikator CENP-F, ein Faktor der während der Interphase kernständig ist, markiert werden, wodurch die Zellzyklusphase zum Zeitpunkt der Untersuchung geschädigter Zellen mittels Immunfluoreszenzfärbung eindeutig zugeordnet werden kann. Geschädigte DNA wird durch die Detektion von γ H2AX-Foci visualisiert, HR durch die Kolokalisierung von Rad51- und BRCA2-Foci. Die Herstellung eines BRCA2 spezifischen Antikörpers soll in einem weiteren Arbeitsschritt erfolgen.

5. ERGEBNISSE

Zu Beginn des Vorhabens fand das erste Minisymposium ganztägig am Heinrich-Pette-Institut in Hamburg unter Beteiligung aller Verbundpartner statt. Im Mittelpunkt dieser Zusammenkunft standen der Austausch von Protokollen, die Bestandsaufnahme vorhandener Reagenzien sowie die Koordinierung der gegenseitigen Laborbesuche, die für die Etablierung essenzieller Techniken anstanden. Darüber hinaus stellte jeder Verbundpartner seine Zielsetzung und das damit verbundene Arbeitsprogramm für das Förderjahr 2011 vor.

5.1 HANDHABUNG DES ISOGENEN CV-1/TO-CV-1 ZELLSYSTEMS (ARBEITSGRUPPE DORNREITER)

5.1.1 Organisation

Ein standardisiertes Arbeiten mit dem CV-1/TO-CV-1 Zellsystem erfordert, dass in allen Laboren dasselbe fötale Kälberserum (FCS) sowie für die Synchronisation erforderliche Isoleucin-freie Medium verwendet wird. Dazu wurden neun verschiedene FCS-Chargen ausgetestet und für die beste FCS-Charge, das Isoleucin-freie Medium sowie dialysiertes FCS eine Sammelbestellung durchgeführt. Diese Zellkulturreagenzien wurden an alle Verbundpartner weitergeleitet. Darüber hinaus wurden die CV-1/TO-CV-1 Zelllinien sowie DNA-Konstrukte (pCDNA4/TO-Flag-ATR^{Kd}, pCDNA4/TO-shRNA-Chk1, -Chk2) an alle bzw. einzelne Verbundpartner auf Anfrage hin geschickt.

5.1.2 Etablierung von Techniken

Mittels FACS-Analyse erfolgte zunächst die Ermittlung des Zellzyklusverlaufs, der durch Isoleucinentzug in pseudo-G0 synchronisierten CV-1 Zellen induziert wurde. Neun Stunden nach Re-stimulierung befanden sich die Zellen am G1/S-Übergang und durchliefen innerhalb von acht Stunden die replikative S-Phase. Für die immunfluoreszenzmikroskopische Identifikation früher, mittlerer, später S- (S/G2) sowie G2-Phase Zellen wurden die Zellen zum Zeitpunkt der Ernte mit EdU und einem anti-Polymerase α -Antikörper markiert. An Hand des typischen Replikations- sowie Polymerase α -musters lassen sich diese S-Phase-Zeiten unterscheiden und eine zusätzliche CENP-F-Färbung ermöglicht die eindeutige Identifizierung von G1-, S-, sowie G2-Phase Zellen. Darüber hinaus erlaubt die Etablierung der EdU/BrdU-Doppelmarkierung festzustellen, inwieweit sich bestrahlte CV-1 Zellen am Beginn sowie am Ende eines vom G1/S-Übergang ausgehenden zehnstündigen Beobachtungszeitraums in der S- bzw. noch in der S-Phase befinden. Für die Identifizierung von chromatinassoziierten Schadensfaktoren wurde für die Konfokale Immunfluoreszenz Mikroskopie eine Prä-Extraktionsmethode mit anschließender vierfach Färbung etabliert. Mit dieser Technik kann für bestrahlte frühe S-Phase Zellen gleichzeitig die Kern-DNA (DAPI (4'-6'-Diamino-2-Phenyl-indoldihydrochlorid) oder Hoechst), die replizierende DNA (EdU) sowie zwei zusätzliche Proteine (z. B. γ H2AX/Rad51) detektiert werden. Zellen, bei denen die Bestrahlung in der späten S-Phase erfolgte, wurden zur Unterscheidung zwischen S- und G2-Phase mit DAPI, EdU und CENP-F markiert. Bei diesen Zellen wurde im vierten Kanal entweder γ H2AX- oder Rad51-Foci nachgewiesen. Die quantitative Auswertung der mittels ionisierender Strahlung induzierten γ H2AX/Rad51-Foci erfolgte mit dem automatisierten BD-Pathway Mikroskop. Mit Hilfe der Software Attovision und ImageJ wurde unter Berücksichtigung verschiedener mathematischer Parameter die Anzahl der γ H2AX- und Rad51-Foci berechnet und mit denen von Auge ausgezählten verglichen. Allerdings erwies sich die automatisierte Auszählung der Rad51-Foci als zu ungenau, da die Hintergrundfärbung des anti-Rad51 Antikörpers zu stark war und somit zu großen Abweichungen zu den von Auge ausgezählten Proben führte.

5.1.3 Analyse Zellzyklus, DNA-Schadensantwort bestrahlter G1/S CV-1 Zellen

Für die Analyse der S-Phasen- bzw. Zellzyklusprogression wurden CV-1 Zellen am G1/S-Übergang bestrahlt (2 Gy) und die Replikationsaktivität mittels Thymidin- bzw. EdU-Einbau quantifiziert. Die Ergebnisse zeigten, dass zu Beginn des eines vom G1/S-Übergang ausgehenden 18stündigen Beobachtungszeitraums nur 5% der Zellen replikationsaktiv waren, während sechs Stunden später 70% (Mitte S-Phase) und nach neun/zehn Stunden (S/G2-Übergang) 5% der Zellen EdU positiv waren. Im Gegensatz zu den bestrahlten CV-1 Zellen zeigten die schein-bestrahlten G1/S Zellen ihre maximale Replikationsaktivität bereits nach vier Stunden (Mitte S-Phase), allerdings war die minimale Replikations-aktivität ebenfalls nach neun/zehn Stunden (S/G2) wieder erreicht. Daraus kann geschlossen werden, dass der Replikationsprozess in schein- und bestrahlten Zellen identisch ist, sich jedoch auf Grund der unterschiedlichen Replikationsmaxima in der Initiations- und/oder Elongationsgeschwindigkeit unterscheiden könnten. Der Nachweis der inhibitorischen Phosphorylierung der für die G2-Phasenprogression fördernden Faktoren Phosphatase Cdc25C sowie Kinase Cdk1 an ihren Aminosäureresten S216 bzw. Y15 und die um zwei Stunden später einsetzende Generierung des Mitose-markers P-H3 weisen auf eine attenuierte G2-Phasenprogression hin.

Zur Evaluierung der DNA-Schadensantwort wurden CV-1 Zellen am G1/S-Übergang bestrahlt (2 Gy) und die ATM/ATR-vermittelte Schadenssignalkaskade mittels Western Blot analysiert. Unmittelbar nach Bestrahlung steigt die Phosphorylierung von ATM bis vier Stunden an und ist am Ende der replikativen Phase kaum mehr nachweisbar. Die ATM Aktivierung führt unmittelbar zur zweistündigen Phosphorylierung der nachgeschalteten Effektoren Chk2-T68, SMC1-S966 und KAP1-S824. Die Stabilisierung und Serin-15 Phosphorylierung der Transaktivatoren $\Delta p53$ und p53 ist während der ersten zwei bzw. acht Stunden nach Bestrahlung nachweisbar, wobei die Serin-15 Phosphorylierung von $\Delta p53$, ein ATR-spezifisches Substrat, auf die Aktivierung von ATR hinweist. Die Entstehung von phosphoryliertem Chk1 an seinen Serinresten 317 und 345 bestätigten den Befund, wobei bemerkenswert ist, dass die Chk1 Phosphorylierung erst bei fortgeschrittener bis einschließlich Ende der Replikation detektierbar ist. Diese Befunde sprechen dafür, dass der durch ionisierende Strahlung induzierte Initialschaden die ATM-Chk2-vermittelte Schadensantwort auslöst, während die später einsetzenden bzw. zunehmenden Replikationsereignisse zu sekundären Schäden und somit zur Aktivierung der ATR-Chk1-vermittelten Signaltransduktionskaskade führen.

5.2 FIBER ASSAY (ARBEITSGRUPPE BORGMANN / DAHM-DAPHI)

Die CV-1 sowie TO-CV-1 Zelllinien wurden erfolgreich kultiviert und am G1/S-Übergang synchronisiert. Darüber hinaus wurde die Rekombinationsaktivität während der S-Phase untersucht. Festgestellt wurde, dass sich ohne ATM die Bildung von strahlendinduzierten Rad51-Foci in der S-Phase verzögert und deren Entstehung abhängig von funktionellem ATR/Chk1 ist. Somit konnte erstmals gezeigt werden, dass nach ionisierender Bestrahlung ATR direkt für die HR benötigt wird.

5.3 SNAKE (ARBEITSGRUPPE FRIEDL)

Nach dem Erlernen des Umgangs mit den CV-1 sowie TO-CV-1 Zelllinien (HPI, Hamburg) erfolgten erste Vorexperimente. Darüber hinaus wurde getestet, inwieweit humanspezifische Antikörper ihr Antigen (z. B. ATR, Mre11, Rad50, Mdc1, Ku80, 53BP1, BRCA1) in den CV-1 Zellen erkennen und im Western Blot sowie in der Immunfluoreszenz eingesetzt werden können.

5.4 (ARBEITSGRUPPE GROBE / POSPIECH)

Ein Schwerpunkt der wissenschaftlichen Aktivitäten lag in der Herstellung von BRCA2-Antikörpern, da diese ein wichtiges Werkzeug für die weiteren Arbeiten mehrerer Teilprojekte des Verbundes darstellt. Es wurden für die Immunisierung geeignete Bereiche des menschlichen BRCA2 identifiziert, die entsprechenden cDNA (komplementäre Desoxyribonukleinsäure)- Abschnitte in bakterielle Expressionsvektoren kloniert, und nach Verifizierung der Konstrukte wurden erste Testexpressionen durchgeführt. Daneben wurden in menschlichen Zellen Cdc45 und GFP-Cdc45 transient überexprimiert. Die Überexpression von Cdc45 zeigte schon ohne zusätzliche Bestrahlung einen Phänotyp, der informativ für die Funktion des Initiationsfaktors ist, und der daher zunächst näher charakterisiert wurde. Darüber hinaus wurden das Replikationssystem in isolierten Zellkernen etabliert, und steht nun für das Studium der strahleninduzierten Effekte auf die Initiation und die Elongation der DNA-Replikation zur Verfügung.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Folgende Weiterarbeiten sind für das Jahr 2011 geplant:

- **Arbeitsgruppe Dornreiter:** Analyse von ATM/ATR-vermittelter Signaltransduktions-kaskaden, Reparatur- und Replikationsvorgänge in wtp53 CV-1, Mutanten p53, $\Delta p53$ und p53/ $\Delta p53$ sowie p21 Knockdown TO-CV-1 Zellen.
- **Arbeitsgruppe Borgmann/Dahm-Daphi:** DSB-Generierung und Reparatur nach verschiedenen schädigenden Agenzien sowie Evaluierung von Chromosomenschäden.
- **Arbeitsgruppe Friedl:** Herstellung von Expressionsvektoren und Einzelzellklonen, die Fluoreszenz-markierte Transgene markieren. Erstellung von Parameter für die Rekrutierung nach Erzeugung spezifischer Schadensarten und nach ionisierender Strahlung.
- **Arbeitsgruppe Grosse/Pospiech:** Antikörperherstellung und strahleninduzierte Kontrolle der DNA-Replikationsinitiation.

Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Subject area 04
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema			
Machbarkeitsstudie zur Erhebung der medizinischen Strahlenexposition in der Helmholtzkohorte			
Subject			
<i>Feasibility study for the assessment of medical ionising radiation exposure in the German National Cohort Study</i>			
Kennzeichen 3610S40001	Beginn 01.11.2010	Ende 31.10.2012	Fördermittel EUR 191.852,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Universität Bremen, Bremer Institut für Präventionsforschung und Sozialmedizin			
Unterauftragnehmer/Kooperation:			
1) Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI), Universitätsmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz			
2) Institut für Medizinische Physik und Strahlenschutz, Fachhochschule Gießen-Friedberg			
Projektleitung Prof. Dr. H. Zeeb	Fachbetreuung BfS Dr. A. Tschense / AG-SG 1.3	verantwortlich für den Text Prof. Dr. H. Zeeb	

1. ZIELSETZUNG

In dem Projekt wird mittels einer Machbarkeitsstudie untersucht, wie sich eine praktikable, valide und zuverlässige Erfassung der medizinischen Strahlenexposition samt einer Abschätzung von Organ- bzw. Effektdosen in der geplanten Nationalen Kohorte (früher: Helmholtz-Kohorte) durchführen lässt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt wird in vier Teilprojekten durchgeführt. Das 1. Teilprojekt verfolgt die Zielsetzung „Entwicklung praktikabler Erhebungsinstrumente für eine valide Erhebung der medizinischen Strahlenexposition“ und umfasst dabei die nachfolgend genannten Einzelziele:

- Systematische Recherche und Zusammenstellung validierter Erhebungsinstrumente zur Erfassung der medizinischen Strahlenexposition;
- Bewertung der Erhebungsinstrumente unter den Gesichtspunkten der Anwendbarkeit und Qualität sowie der Fehlerquellen und möglicher Gegenmaßnahmen;
- Entwicklung geeigneter Instrumente für eine valide Expositionserhebung in einer epidemiologischen Beobachtungsstudie mit individueller Expositionserhebung von Kohortenteilnehmern;
- Durchführung eines Pilottest.

3. METHODIK

Die Recherche zur Erfassung validierter Erhebungsinstrumente umfasst folgende methodische Ansätze:

- Literaturübersicht zu strahlenepidemiologischen Studien der vergangenen 20 Jahre, bei denen eine individuelle Expositionsermittlung stattfand;
- Literaturübersicht zu Erhebungsinstrumenten der medizinischen Strahlenexposition;
- Gezielte Kontaktaufnahme zu nationalen und internationalen Forscherinnen und Forschern, die strahlenepidemiologische Studien zur medizinischen Strahlenexposition durchgeführt haben;
- Kooperation mit Dr. Alice Sigurdson, National Cancer Institute (NCI), die im Rahmen der „US Radiologic Technologists“-Kohorte über eine ausgewiesene Expertise in der Erhebung von Expositionen im Bereich der medizinischen Strahlenexposition verfügt.

Es wurde in den Planungsgesprächen der Projektpartner festgelegt, die medizinische Exposition (z. B. durch Strahlentherapie oder eine Radio-Jod-Therapie) mit Hilfe von Filterfragen in dem zu entwickelnden Erhebungsinstrument für die Nationale Kohorte zu erfassen. Die beiden Literaturübersichten richteten daher den Fokus auf die diagnostische Strahlenexposition, wobei es nicht das Ziel war, alle in den vergangenen 20 Jahren jemals durchgeführten strahlenepidemiologischen Studien systematisch zu recherchieren und zu bewer-

ten. Vielmehr sollten wichtige Kernstudien ermittelt werden, in denen die diagnostische Strahlenexposition auf individueller Ebene erhoben wurde.

Für die Literatursuche wurden folgende Kriterien festgelegt:

- Einschlusskriterien: Publikationsjahr ab 1.1.1990, englische oder deutsche Sprache, epidemiologische Studie (Kinder und / oder Erwachsene), Erhebung individueller Expositionsdaten;
- Ausschlusskriterien: Therapiestudien, Dosimetriestudien, Studien zur beruflichen Exposition, Fallberichte, Ökologische Studien, Kommentare, Letters, Klinische Studien.

4. DURCHFÜHRUNG

Zur Ermittlung strahlenepidemiologischer Studien im Zeitraum 1990 bis 2005 wurden die Bibliografien des UNSCEAR-Reports 2006 (Epidemiological Studies of Radiation and Cancer) und 2008 (Sources and Effects of Ionising Radiation) überprüft.

Im nächsten Schritt wird jedes Paper bewertet (vgl. Einschlusskriterien, Kap. 3) und die relevanten Informationen zum Erhebungsprozedere extrahiert. Hierzu wurde eine ACCESS-Datenbank konzipiert.

5. ERGEBNISSE

Insgesamt wurden 25 Publikation ermittelt. Für den Zeitraum 2005 bis 2010 wurde eine PubMed-basierte Literatursuche mit erhebungsspezifischen Abfragen durchgeführt. Diese Suche ergab weitere 44 Publikationen. Eine Handsuche in ausgewählten Reviews führte zu 25 Artikeln. Bei den insgesamt 94 Artikeln handelt es sich in 12 Fällen um Duplikate.

Im Berichtszeitraum wurde mit der gezielten Suche und Dokumentation validierter Erhebungsinstrumente begonnen. Hierzu wurde Dr. Alice Sigurdson (NCI) kontaktiert, die die Fragebögen der „U.S. Radiologic Technologists“-Kohorte sowie weitere NCI - Instrumente zur Verfügung stellte. Darüber hinaus liegen zurzeit fünf relevante Fragebögen aus deutschen strahlenepidemiologischen Studien vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die literaturbasierte Arbeit wird abgeschlossen und auf der Basis der identifizierten Instrumente ein Erhebungsinstrument für die Machbarkeitsstudie entwickelt. Die Projektpartner stimmen sich regelmäßig ab, gleichzeitig wird in Bremen die Kooperation mit der dortigen Arbeitsgruppe zur Durchführung weiterer Machbarkeitsstudien für die Nationale Kohorte etabliert, so dass die „Durchführung der Erhebung bei ca. 100 Personen“ direkt im Anschluss an das 1. Teilprojekt umgesetzt werden kann.

Thema Medizinphysikalische Optimierung und Risikobewertung diagnostischer und therapeutischer Strahlenanwendungen			
Subject <i>Physical optimization and risk assessment of diagnostic and therapeutic procedures using ionising or non-ionising radiation</i>			
Kennzeichen 3608S04001	Beginn 01.07.2008	Ende 30.06.2012	Fördermittel EUR 371.934,-
Forschungs- / Auftragnehmer Klinik für Strahlentherapie, Universitätsklinikum Mannheim, Fakultät Medizin Mannheim, Universität Heidelberg			
Projektleitung Prof. Dr. F. Wenz	Fachbetreuung BfS Dr. J. Griebel / AG-SG 2.1		verantwortlich für den Text Prof. Dr. F. Wenz

1. ZIELSETZUNG

Wissenschaftliches Ziel des Vorhabens ist die Weiterentwicklung des medizinischen Strahlenschutzes durch die medizinphysikalische Optimierung und Risikobewertung therapeutischer und diagnostischer Verfahren. Parallel zur Bearbeitung der wissenschaftlichen Aufgabenstellungen sollen die involvierten Wissenschaftler mit einem Diplom- oder Masterabschluss in Physik am Klinikum die praktische Ausbildung zum Medizinphysik-Experten nach den Vorgaben der Strahlenschutz- und Röntgenverordnung absolvieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 FUNKTIONELLE BILDGEBUNG FÜR DIE BIOLOGISCH-ADAPTIERTE STRAHLENTHERAPIE

Die therapeutische Wirkung einer Strahlenbehandlung mit Photonen hängt nicht nur von der realisierten physikalischen Dosisverteilung ab, sondern darüber hinaus von vielfältigen physiologischen und molekularen Prozessen im Tumor, wie z. B. der Mikrozirkulation und dem metabolischen Mikromilieu. Dementsprechend gewinnen funktionelle Bildgebungsverfahren, mit denen diese Prozesse nichtinvasiv erfasst werden können, für die Individualisierung und Optimierung der Strahlenbehandlung immer mehr an Bedeutung. Im Rahmen des Vorhabens soll die klinische Praktikabilität und der Stellenwert von MRT¹⁾- und PET / CT²⁾-Methoden zur funktionellen Bildgebung erarbeitet werden, die mit den derzeit verfügbaren Tomographen an einer Vielzahl von Kliniken im Rahmen der Strahlentherapie von Tumorpatienten eingesetzt werden können.

2.2 WIRKUNG STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE MIKROZIRKULATION

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

3. METHODIK

3.1 FUNKTIONELLE BILDGEBUNG FÜR DIE BIOLOGISCH-ADAPTIERTE STRAHLENTHERAPIE

Es sollen drei Bildgebungstechniken untersucht werden:

1. das ¹H-Chemical-Shift-Imaging (¹H-CSI) an einem 3-Tesla MR-System, sowie
2. die dynamische PET-Bildgebung unter Verwendung des Glukoseanalogons [¹⁸F] Fluordesoxyglukose (FDG-PET) in Kombination mit

¹⁾ Magnetresonanztomographie

²⁾ Positronen-Emissions-Tomographie / Computer-Tomographie

3. der dynamischen kontrastverstärkten (DCE) CT an einem modernen PET / CT-System. Die dynamisch akquirierten FDG-PET und DCE-CT-Daten sollen mittels tracerkinetischer Modelle analysiert werden, um den Energiestoffwechsel bzw. die Mikrozirkulation zu quantifizieren. Die Relevanz dieser Ansätze für die Strahlentherapie soll im Rahmen einer klinischen Studie bei Patienten mit Hirnmetastasen untersucht werden.

3.2 WIRKUNG STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE MIKROZIRKULATION

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

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 FUNKTIONELLE BILDGEBUNG FÜR DIE BIOLOGISCH-ADAPTIERTE STRAHLENTHERAPIE

An den im Vorjahreszeitraum etablierten CSI-Sequenzen wurden Parameteroptimierungen bezüglich der Akquisitionsdauer und der Sensitivität an der Auslösungsgrenze durchgeführt. Anschließend wurden für verschiedene Metabolitlösungen erste Messungen zur Bestimmung von Recovery-Koeffizienten zur Korrektur von Teilvolumeneffekten in Zylindern verschiedener Durchmesser durchgeführt. Die Auswertung zeigte allerdings, dass bei Material und Geometrie der Phantome noch Verbesserungsbedarf besteht. Aus diesem Grund sollen die Messungen an komplexeren Phantomen wiederholt werden, die besser an die spezifischen Randbedingungen bei der MRT adaptiert sind und aktuell beschafft werden.

Die umfangreichen Untersuchungen zur Bestimmung der Leistungsparameter des PET / CT-Systems „Biograph mCT“ nach dem technischen Gerätestandard NEMA¹⁾-NU2-2007 wurden fortgeführt. Neben der Ortsauflösung wurden ebenfalls Recovery-Faktoren für Zylinder unterschiedlicher Durchmesser mittels eines eigenentwickelten Phantoms für die im NEMA-Protokoll empfohlene Rekonstruktionsmethode sowie einen iterativen (OSEM²⁾) und einen auflösungsverbesserten Rekonstruktionsalgorithmus (TrueX) durchgeführt.

4.2 WIRKUNG STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE MIKROZIRKULATION

In diesem Projektteil erfolgte zunächst die Entwicklung zweier Phantome, um die implementierte Saturation-Recovery-Sequenz (SRTF) zur Messung der Gewebepfusion speziell am 7 Tesla-Tomographen prüfen zu können. Hierzu wurde ein Phantom zur T1-Relaxationsmessung von relevanten Kontrastmittelkonzentrationen und ein weiteres zur Simulation der Messung der arteriellen Inputfunktion und Überprüfung auf T2*-Relaxationseffekte entwickelt. Die Phantommessungen wurden erfolgreich durchgeführt und die T1-Relaxivitäten des verwendeten MR-Kontrastmittels an den drei MR-Tomographen (s. o.) mit Hilfe von selbstentwickelter Auswertesoftware bestimmt.

5. ERGEBNISSE

5.1 FUNKTIONELLE BILDGEBUNG FÜR DIE BIOLOGISCH-ADAPTIERTE STRAHLENTHERAPIE

Recovery-Faktoren zur Korrektur von Teilvolumeneffekten wurden für Zylinder verschiedener Durchmesser und für vier verschiedene Metabolitenlösungen bestimmt. Die Ergebnisse waren zwar konsistent, jedoch zeigte sich ein systematischer Effekt des verwendeten Phantoms. Die vorläufigen Ergebnisse wurden auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Physik (DGMP) präsentiert.

Eine umfassende Charakterisierung des PET / CT-Systems gemäß NEMA-Protokoll wurde durchgeführt und bei der Jahrestagung der DGMP publiziert. Hierbei wurde gezeigt, dass mit allen Rekonstruktionsalgorithmen eine annähernd isotrope Auflösung realisiert werden kann. Die absolute Auflösung variiert dabei von 3,0 mm (TrueX, tangential, Zoom 3, Quellenposition 1 cm) bis 6,7 mm (Filtered Backprojection, axial, Zoom 1, Quellenposition 10 cm). Um einen unmittelbaren Vergleich der Quantifizierungsgenauigkeit von Metabolitkonzentrationen

¹⁾ National Electrical Manufacturers Association

²⁾ ordered subset expectation-maximization

trationen am PET mit der ^1H -CSI-Methode zu gewährleisten, sollen auch die PET-Messungen zur Bestimmung von Recovery-Koeffizienten an dem Phantom wiederholt werden, das gerade für die MR beschafft wird.

5.2 WIRKUNG STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE MIKROZIRKULATION

Die Entwicklung der Test-Phantome ist abgeschlossen und die zugehörigen Messreihen konnten erfolgreich durchgeführt werden. Die Funktion der für die Perfusionsmessungen implementierten SRTF-Sequenz konnte validiert werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden auf der Jahrestagung der DGMP vorgestellt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im kommenden Berichtszeitraum sollen zunächst die vorbereiteten Phantommessungen in Bezug auf die geplante Patientenstudie mit PET / CT und ^1H -CSI abgeschlossen und publiziert werden. Parallel sollen die zur Auswertung der Patientenstudie erforderlichen Softwarearbeiten beendet werden. Der Antrag bei der zuständigen Ethikkommission und dem BfS auf Durchführung der Patienten- bzw. Probandenstudien wird eingereicht; nach Abschluss des Genehmigungsverfahrens soll unmittelbar mit der Studiendurchführung begonnen werden.

Thema			
Erstellung von nationalen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie			
Subject			
<i>Providing of national standards for radiation protection and quality assurance in medical radiology</i>			
Kennzeichen 3608S04575	Beginn 01.04.2008	Ende 31.03.2011	Fördermittel EUR 199.050,-
Forschungs- / Auftragnehmer Deutsche Röntengesellschaft (DRG) e. V., Berlin			
Projektleitung Dr.-Ing. B. Seidel	Fachbetreuung BfS R. Veit / AG-SG 2.2	verantwortlich für den Text Dr.-Ing. 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, IEC, CEN, CENELEC) von erheblicher nationaler Bedeutung und auch erforderlich, um die Ziele neuerer europäischer Vorgaben für den Strahlenschutz harmonisiert umzusetzen.

ISO = International Organization for Standardization

IEC = International Electrotechnical Commission

CEN = Comité Européen de Normalisation

CENELEC = Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben beinhaltet Normungsarbeit auf den folgenden Teilgebieten:

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

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

Tabelle 1: Normungsprojekte

Projektnummer	Titel
DIN 6862-2	Identifizierung und Kennzeichnung von Bildaufzeichnungen in der medizinischen Diagnostik – Teil 2: Bildgebung mit digitaler Radiographie, digitaler Subtraktionsangiographie und Computertomographie
DIN 6878-1	Digitale Archivierung in der medizinischen Radiologie – Teil 1: Allgemeine Anforderungen an die digitale Archivierung von Bildern
IEC 62494-1	Medical electrical equipment – Exposure index of digital X-ray imaging systems – Definitions and requirements
IEC 62220-1-3	Medizinische elektrische Geräte – Merkmale digitaler Röntgenbildgeräte – Teil 1-3: Bestimmung der detektiven Quanten-Ausbeute – Bildempfänger für dynamische Bildgebung
DIN 6855-1	Qualitätsprüfung nuklearmedizinischer Mess-Systeme – Teil 1: In-vivo- und In-vitro-Messplätze
DIN 6855-11	Qualitätsprüfung nuklearmedizinischer Messsysteme – Teil 11: Konstanzprüfung von Aktivimetern
Portal Imaging (NAR)	Elektronische Bildempfänger in der Strahlentherapie (EPID) – Konstanzprüfung von Kennmerkmalen
DIN 6868-60	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben – Teil 60: Qualitätsanforderungen von Befundaufnahmen nichttransparenter Medien in der zahnmedizinischen Röntgendiagnostik
PET-CT	Bildgebende Systeme in der Nuklearmedizin – Merkmale und Prüfbedingungen – PET-CT
DIN 6868-150	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben – Abnahmeprüfung nach RöV an medizinischen Röntgen-Einrichtungen für Aufnahme, Durchleuchtung und Filmverarbeitung
DIN 6868-151	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben – Teil 151: Abnahmeprüfung nach RöV an zahnärztlichen Röntgeneinrichtungen – Regeln für die Prüfung der Bildqualität nach Errichtung, Instandsetzung und Änderung
DIN 6868-152	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben – Teil 152: Abnahmeprüfung nach RöV an Röntgen-Einrichtungen für Mammographie – Regeln für die Prüfung der Bildqualität nach Errichtung, Instandsetzung und Änderung
IEC 60601-2-1	Medical electrical equipment – Part 2-1: Particular requirements for the safety and essential performance of electron accelerators in the range 1 MeV to 50 MeV
IEC 60601-2-17	Medical electrical equipment – Part 2-17: Particular requirements for the safety and essential performance of automatically-controlled brachytherapy afterloading equipment
DIN 6857-1/ IEC 61331-3	Strahlenschutzzubehör bei medizinischer Anwendung von Röntgenstrahlen – Teil 1: Bestimmung der Abschirmeigenschaften von bleifreier oder bleireduzierter Schutzkleidung
IEC 60601-1-3	Medizinische elektrische Geräte – Teil 1-3: Allgemeine Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale – Ergänzungsnorm: Strahlensicherheit in diagnostischen Röntgengeräten
DIN 6809-1	Klinische Dosimetrie – Teil 1: Strahlungsqualität Photonen- und Elektronenstrahlung
DIN 6809-2	Klinische Dosimetrie – Brachytherapie mit umschlossenen gammastrahlenden radioaktiven Stoffen
DIN 6809-3	Klinische Dosimetrie – Röntgendiagnostik
TLD detectors (ISO)	Radiation Protection – Procedure of dosimetry with thermoluminescence detectors for photon and electron radiations in radiotherapy
DIN 6868-57	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben – Teil 57: Abnahmeprüfung nach RöV an Bildwiedergabegeräten

3. METHODIK

Nach der Richtlinie für Normenausschüsse des DIN (Deutsche Industrie Norm) vom 7. Juni 1990 und der Geschäftsordnung des Normenausschusses Radiologie vom 16.11.2000, insbesondere DIN 820-4 „Geschäftsgang“, ist der NAR zur Einhaltung eines festgelegten Arbeitsablaufes für Normungsprojekte verpflichtet.

4. DURCHFÜHRUNG

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

5. ERGEBNISSE

5.1 E DIN 6862-2:2010-06

- Zum Druck als Norm verabschiedet

5.2 E DIN 6878-1:2009-03

- Im Druck als Norm

5.3 DIN EN 62494-1:2010-05

- Abgeschlossen

5.4 E DIN EN 62220-1-3:2008-01

- Internationale Norm veröffentlicht mit Ausgabedatum 2008-06
- Im Druck als Norm

5.5 DIN 6855-1:2009-07

- Abgeschlossen

5.6 DIN 6855-11:2009-05

- Abgeschlossen

5.7 E DIN 6847-6:2010-10

- Als Entwurf veröffentlicht; Einsprüche bis 2011-02-28

5.8 E DIN 6868-160:2009-08

- Im Druck als Norm

5.9 PET-CT

- Künftige Norm: DIN 6858-1 „Qualitätsprüfung multimodaler Bildgebung - Teil 1: PET-CT“
- In Bearbeitung

5.10 DIN 6868-150

- In Bearbeitung

5.11 DIN 6868-151:2010-03

- Abgeschlossen

5.12 E DIN 6868-152:2011-01

- Als Entwurf veröffentlicht; Einsprüche bis 2011-05-24

5.13 E DIN EN 60601-2-1:2008-07

- Internationale Norm IEC 60601-2-1 veröffentlicht 2009-10
- Im Druck als DIN V IEC 60601-2-1

5.14 E DIN EN 60601-2-17:2009-10

- international FDIS in Vorbereitung

5.15 DIN 6857-1/IEC 61331-3

- DIN 6857-1 als Norm mit Ausgabedatum 2009-01 veröffentlicht
- Normenreihe IEC 61331 bei IEC in Überarbeitung

5.16 DIN EN 60601-1-3:2008-12

- Abgeschlossen

5.17 DIN 6809-1:2010-03

- Abgeschlossen

5.18 DIN 6809-2

- In Bearbeitung

5.19 E DIN 6809-3:2010-08

- Vorbereitung zur Verabschiedung als Norm

5.20 ISO/CD 28057 (TLD)

- Projekt bei ISO als CD veröffentlicht; Kommentare bis 2011-04-12

5.21 DIN 6868-57

- 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 Erstellung von hybriden Voxelmodellen zur Optimierung von Bildqualität und Dosis in der Radiographie			
Subject <i>Construction of hybrid voxel models for optimising image quality and dose in radiography</i>			
Kennzeichen 3609S40002	Beginn 01.09.2009	Ende 30.11.2011	Fördermittel EUR 303.126,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München			
Projektleitung M. Zankl	Fachbetreuung BfS Dr. D. Noßke / AG-SG 2.2	verantwortlich für den Text M. Greiter, N. Petoussi-Henß, H. Schlattl, M. Zankl	

1. ZIELSETZUNG

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

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ERSTELLUNG VON HYBRIDEN VOXELMODELLEN

Für Lunge und weibliche Brust sollen hoch aufgelöste Feinstrukturen erstellt und in das Voxelmodell eines Erwachsenen eingepasst werden. Für die Mammographie ist dabei das Voxelmodell einer erwachsenen Frau zu verwenden und auch die Komprimierung der Brust bei der Aufnahme zu berücksichtigen.

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

Es sind Programme zur Simulation des Strahlentransports in den Hybrid-Voxelmodellen zu entwickeln, wobei ein digitales Bildaufzeichnungssystem mit Raster als zusätzlichem Element zu berücksichtigen ist. Es sind Zielparameter zur Bestimmung der Bildqualität und Anforderungen an sie zu definieren.

2.3 BESTIMMUNG VON DOSIS UND BILDQUALITÄT FÜR THORAXAUFNAHMEN UND MAMMOGRAPHIEN

Für Thoraxaufnahmen und Mammographien sind Organdosen und effektive Dosis sowie Parameter zur Beschreibung der Bildqualität bei Annahme realistischer Aufnahmeparameter (Spannung, Filter- und Anodenmaterial) zu berechnen.

3. METHODIK

Die anzuwendenden Methoden umfassen die Segmentierung hoch aufgelöster Bilddatensätze, deren Einpassung in vorhandene Voxelmodelle geringerer Auflösung, die Simulation des Strahlentransports unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Auflösung in unterschiedlichen Bereichen des Körpers, die Einbeziehung des Bildempfängers in die Berechnungen sowie die Auswertung von Bildqualitätsparametern.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERSTELLUNG VON HYBRIDEN VOXELMODELLEN

Die Arbeitsgruppe hat Zugang zu je einem anatomischen Präparat einer Lunge und einer komprimierten weiblichen Brust, von denen hoch aufgelöste CT-Untersuchungen angefertigt werden können. Wegen der geforderten sehr hohen Bildauflösung von ca. 50-100 µm in allen Dimensionen ist es erforderlich, diese Aufnahmen an einem Spezialgerät anzufertigen, wie es an der University of Arizona in Tucson, USA, einem langjährigen Kooperationspartner der Arbeitsgruppe, zur Verfügung steht. Anschließend werden diese hoch aufgelösten Bilddatensätze segmentiert, um die unterschiedlichen Strukturen und ihre Zusammensetzung mit hoher räumlicher Auflösung für die Strahlentransportrechnungen zur Verfügung zu stellen. Die segmentierten hoch aufgelösten Voxelmodelle der Lunge bzw. der weiblichen Brust werden in die Ganzkörper-Voxelmodelle geeignet eingepasst. Dabei ist darauf zu achten, dass

- a) die entsprechenden Strukturen in den bestehenden Ganzkörperphantomen komplett ersetzt werden und
- b) keine anderen wichtigen Strukturen in den bestehenden Ganzkörperphantomen (z. B. Herz, Speiseröhre, große Blutgefäße) durch „Überschreiben“ verloren gehen. Hierzu müssen die hoch aufgelösten Teilkörperphantome oder die entsprechenden Organe der Ganzkörperphantome nach Bedarf in geeigneter Weise verformt werden.

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

Der Strahlentransport in den Hybrid-Voxelmodellen wird mit dem bewährten Programmpaket EGSnrc durchgeführt. Dazu muss der zu programmierende „Usercode“ zwischen der gröberen Auflösung des Ganzkörper-Voxelmodells und der höheren Auflösung des Teilkörper-Voxelmodells unterscheiden. Die beiden Voxelmodelle werden dabei gleichzeitig verwendet. Die Photonen-Lebensgeschichten beginnen in der gröber aufgelösten Geometrie. Wenn ein simuliertes Teilchen in den Teilbereich „Lunge“ bzw. „weibliche Brust“ - erkennbar an der entsprechenden Organkennzahl in der gröberen Auflösung - eintritt, wird das hoch aufgelöste Teilkörperphantom aktiviert und die Teilchengeschichte dort weiterverfolgt, bis das Teilchen diesen Bereich verlässt. Anschließend wird der Teilchentransport wieder im gröber aufgelösten Bereich weiterverfolgt. Um ein digitales Bildaufzeichnungssystem mit Raster einzubeziehen, wird eine Teilchengeschichte nicht beim Verlassen des Körpers beendet sondern bis zum Auftreffen auf eine Detektorebene weiterverfolgt. Diese Detektorebene ist in Bildelemente unterteilt, deren Abmessung bei der Mammographie höchstens 100 µm und bei Thoraxaufnahmen höchstens 200 µm betragen soll. Der Detektor wird als „idealer“ Detektor simuliert, d. h. mit einer einfachen Beziehung zwischen Dosis und Detektoransprechverhalten, ohne besondere Detektoreigenschaften zu berücksichtigen. Ein Raster zur Verringerung der Streustrahlung im Detektor wird ebenfalls mit berücksichtigt. Die Bildqualität soll durch Analyse der Dosisverteilung in der Detektorebene bestimmt werden. Als Zielparameter wird das Kontrast-Rauschverhältnis, zunächst integriert über die Frequenzkomponenten, allerdings für mindestens drei Kontrastobjektgrößen, gewählt. Dazu müssen jeweils geeignete Bereiche in der Detektorebene ausgewählt werden, um sowohl den Kontrast von abgebildeten Strukturen zum Hintergrund zu ermitteln als auch das Rauschen in Bereichen, die homogen sein sollten. Gemäß Publikationen zur Detektionsfähigkeit des Auges ist bekannt, dass ein Kontrast-Rauschverhältnis von mindestens 3:1 - besser 5:1 - benötigt wird, um Strukturen visuell sicher zu erkennen. Für alle drei Objektgrößen wird dieses Kontrast-Rauschverhältnis gefordert.

4.3 BESTIMMUNG VON DOSIS UND BILDQUALITÄT FÜR THORAXAUFNAHMEN UND MAMMOGRAPHIEN

Die Größenordnung von Photonenzahlen in einer realen Mammographie oder Thoraxaufnahme beträgt mindestens ca. 2 Milliarden. Das bedeutet mit den momentan am Helmholtz Zentrum München verfügbaren Rechenkapazitäten eine Rechenzeit von ca. 1-2 Wochen pro Simulation einer einzelnen Aufnahme. Aus diesem Grund ist die mögliche Anzahl der zu simulierenden Variationen der Aufnahmeparameter durch die Rechenzeit beschränkt. Folgende Simulationsrechnungen sind daher geplant:

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

5. ERGEBNISSE

5.1 ERSTELLUNG VON HYBRIDEN VOXELMODELLEN

Die Präparate der Mamma und der Lunge wurden bei externen Instituten mit hoher Auflösung gescannt. Ein Programm zur Einpassung der hochaufgelösten Teilkörpervoxelmodelle in die vorhandenen Referenzvoxelmodelle wurde erstellt und validiert.

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

Der EGSnrc-Usercode wurde dahingehend modifiziert, dass er die Möglichkeit bietet, zwischen unterschiedlichen Auflösungen der Voxel zu wechseln. Ferner wurde das Programm um die Simulation eines realistischen Streustrahlenrasters erweitert. Ausführliche Testrechnungen zur Validierung dieser Streustrahlenrastersimulation wurden durchgeführt. Hierzu wurden folgende Parameter variiert: Photonenenergie, Dicke des durchstrahlten Objekts, Verschiebung des Rasters, Abstand des Rasters vom durchstrahlten Objekt, Rasterdicke und Schlitzbreite. Die Auswirkungen dieser Variationen auf folgende Parameter wurden quantifiziert und auf Plausibilität überprüft: Anzahl der detektierten ungestreuten sowie der detektierten gestreuten Photonen, das Verhältnis von Streu- zu Primärstrahlung sowie jeweils die Anzahl der rückgestreuten und der im durchstrahlten Objekt, in den Rasterlamellen sowie in den Rasterzwischenräumen absorbierten Photonen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

- Segmentierung der hoch aufgelösten Voxelmodelle von Lunge und Brust;
- Simulation zweier Mammographien mit unterschiedlichem Anodenmaterial;
- Simulation je einer Thoraxaufnahme gleicher Strahlenqualität für beide Referenzphantome mit Lungen-Feinstruktur und 2-3 weiterer Thoraxaufnahmen mit unterschiedlichen Strahlenqualitäten für eines der beiden Phantome;
- Entwicklung und programmtechnische Umsetzung einer Methode zur Bestimmung des Kontrast- / Rauschverhältnisses in den simulierten Bildern;
- Bestimmung von Dosis und Bildqualität für die simulierten Thoraxaufnahmen und Mammographien.

Themenbereich 05
Radioökologie

Subject area 05
Radioecology

Thema Erweiterung und Validierung von ARTM für den Einsatz als Ausbreitungsmodell in AVV und SBG			
Subject <i>Improvement and validation of ARTM for the application as an atmospheric dispersion model in AVV and SBG</i>			
Kennzeichen 3608S05005	Beginn 11.02.2009	Ende 31.10.2011	Fördermittel EUR 580.490,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln			
Projektleitung Dr. M. Sogalla	Fachbetreuung BfS H. Wildermuth / SW 1.4		verantwortlich für den Text R. Martens, H. Wildermuth

1. ZIELSETZUNG

Vor dem Hintergrund der fachlichen Überarbeitung und der Aktualisierung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV (AVV) und der Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV (SBG) gibt es Überlegungen, das bisher in AVV und SBG vorgeschriebene Gauß-Fahnenmodell durch ein moderneres Ausbreitungsmodell zu ersetzen. In diesem Zusammenhang wurde im Rahmen eines abgeschlossenen Forschungsvorhabens (StSch 4443) ein Lagrangesches Partikelmodell bereitgestellt, wie es im Rahmen der neuen Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) vom 24. Juli 2002 zum Einsatz kommt. Hierfür wurde das für die Ausbreitung konventioneller Luftbeimengungen konzipierte Programmsystem AUSTAL2000 für die Ausbreitung luftgetragener radioaktiver Stoffe angepasst und das Atmosphärisches Radionuklid-Transportmodell (ARTM) erstellt. U. a. wurden in ARTM Algorithmen zur Berücksichtigung der Gamma-Wolkenstrahlung sowie der nassen Deposition entwickelt und in den bestehenden AUSTAL2000-Quellcode implementiert. Des Weiteren wurden Schnittstellen zu Dosisberechnungen mit externen Dosismodellen realisiert. ARTM wurde während einer Testphase unter Beteiligung vieler Anwender aus verschiedenen Institutionen erprobt. Zur Unterstützung der Modellanwender stand hierfür die von der GRS außerhalb des Forschungsvorhabens entwickelte anwenderfreundliche graphische Benutzeroberfläche GO-ARTM zur Verfügung.

Während der Programmentwicklung ergaben sich seitens der Programmentwickler sowie während der Testphase seitens der Modellanwender Fragestellungen, Probleme und Wünsche, die eine Erweiterung und Validierung von ARTM für den Einsatz als Ausbreitungsmodell in der AVV, in den SBG oder in den derzeit diskutierten Berechnungsgrundlagen für SEWD (Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter) nahelegen und die die Zielsetzung des Forschungsvorhabens 3608S05005 umreißen.

2. EINZELZIELSETZUNG

1. Aufarbeitung des für das Vorhaben relevanten Standes von Wissenschaft und Technik;
2. Bewertung und Validierung von ARTM;
3. Technisch-wissenschaftliche Modellerweiterungen an ARTM unter Einbeziehung der anwenderfreundlichen Benutzeroberfläche GO-ARTM;
4. Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen Programmentwickler und externen Anwendern einschließlich technisch-wissenschaftlicher Unterstützung von BMU und BfS.

3. METHODIK

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

Der für die Bearbeitung des Vorhabens relevante Stand von Wissenschaft und Technik wurde systematisch aufbereitet und wird im Laufe des Vorhabens um die im Projekt gewonnenen Ergebnisse und Erfahrungen ergänzt. Die Aufbereitung bezieht sich u. a. auf:

- bisherige Arbeiten des Auftragnehmers,
- wichtige Untersuchungen und Ergebnisse anderer Stellen,
- Sichtung aktueller relevanter Informationssysteme,
- Ergebnisse aktueller Beratungen in einschlägigen nationalen und internationalen Gremien (z. B. VDI).

3.2 BEWERTUNG UND VALIDIERUNG VON ARTM

Es wird untersucht, welche Änderungen im ARTM-Modellansatz vorgenommen werden müssen, damit das Programmsystem auch für Störfallanalysen, z. B. im Rahmen der Störfallberechnungsgrundlagen, eingesetzt werden kann. Diese Arbeiten umfassen

- die Bewertung der Eignung des ARTM-Modellansatzes im Hinblick auf die Berechnung von Störfallauswirkungen und eine entsprechende Anpassung des Programmsystems,
- die Bewertung und die Validierung des diagnostischen Strömungsmodells in ARTM zur Berücksichtigung des Einflusses von Gebäudestrukturen einschließlich Kühlturmbauwerken unter Berücksichtigung des jeweiligen Betriebszustandes sowie
- die Bewertung der Verwendung flächendeckender Ergebnisfelder numerischer Wettervorhersagemodelle anstelle meteorologischer Daten nur einer Station zur meteorologischen Initialisierung von ARTM.

3.3 TECHNISCH-WISSENSCHAFTLICHE MODELLERWEITERUNGEN

Dieses Einzelziel umfasst die Prüfung und - wenn möglich - die Umsetzung von Programmweiterungen auf Grund offener Fragestellungen, Kommentare und Anregungen, die während und nach der Entwicklungs- und Erprobungsphase von ARTM aufgeworfen worden sind. U. a. sind hier vorgesehen:

- Einbeziehung eines externen Dosismoduls in ARTM sowie
- weitere technisch-wissenschaftliche Erweiterungen von ARTM und der anwenderfreundlichen Benutzeroberfläche GO-ARTM.

3.4 INFORMATIONS- UND ERFAHRUNGSAUSTAUSCH ZWISCHEN PROGRAMMENTWICKLER UND EXTERNEN ANWENDERN EINSCHLIEßLICH TECHNISCH-WISSENSCHAFTLICHER UNTERSTÜTZUNG VON BMU UND BFS

Während der Projektlaufzeit ist eine parallele Erprobung der Modellerweiterungen durch externe Modell Anwender mit laufender Rückmeldung vorgesehen. Dies gewährleistet eine effiziente Lösung von Problemen, die bei den Erweiterungsarbeiten auftreten, sowie die Umsetzung möglicher Vorschläge zu den geplanten Erweiterungen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 BEWERTUNG UND VALIDIERUNG VON ARTM

Die Arbeiten zur Verwendung des ARTM-Modellansatzes zur Berechnung von Störfallauswirkungen wurden fortgeführt. Auf der Grundlage einer weiterverfolgten umfangreichen Programmstrukturanalyse wurden Programmmodifikationen vorgenommen und vorbereitet, mit denen kürzer als einen Tag dauernde Ausbreitungs-episoden möglich sind und gezielt Modellergebnisse, z. B. an Beurteilungspunkten, herausgeschrieben werden können. Diese Arbeiten bilden die Grundlage für eine Erweiterung auf Ausbreitungsrechnungen mit einem kürzer als stündlichen Zeittakt für Emissionszeitreihen. Solche Randbedingungen sind bei Störfällen, Unfällen sowie SEWD von Bedeutung.

Im Rahmen der Bewertung und Validierung des in ARTM integrierten diagnostischen Strömungsmodells TAL-dia zur Berücksichtigung des Einflusses von Gebäuden wurden folgende Einzeluntersuchungen durchgeführt bzw. in Angriff genommen:

- ARTM-Vergleichsrechnungen mit ARTM zum Gebäudeeinfluss auf die Ausbreitung von Quellen mit niedriger Quellhöhe über Dach.
Dabei wurde am Beispiel einer Lagerhalle der Ansatz zum parametrisierten Gebäudeeinfluss gemäß Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen (2003) sinngemäß durch eine entsprechende Aufweitung der Quellausdehnung (hier: auf dem Boden aufsitzende vertikale Flächenquelle) abgebildet und alternativ dazu mit TAL-dia die Über- und Umströmung des Gebäudes (Lagerhalle) mit einer Punktquelle wenige

Meter über Dachniveau explizit berechnet. An den Beobachtungspunkten im Lee des Gebäudes zeigt sich bei Schwachwind in bis zu etwa 150 m Entfernung eine deutliche Abdeckung (> Faktor 2) der bodennahen Konzentrationen bei explizitem Gebäudeeinfluss durch die Rechnung mit vereinfachter Quellaufweitung. In größerer Entfernung nimmt der Unterschied, vor allem bei neutraler und labiler Schichtung, rasch ab.

- Testrechnungen mit und ohne Gebäuden sowie mit und ohne geschachtelten Netzen. Für eine reale 18 Stunden dauernde Episode betrieblicher Xe-133-Emissionen aus einem deutschen Kernkraftwerk mit SWR wurden Ausbreitungsrechnungen mit und ohne Beeinflussung durch ein Kühlturbauwerk durchgeführt und die berechneten Xe-Konzentrationen mit zeitgleichen Konzentrationsmessungen an einem Messpunkt in etwa 5 km Entfernung verglichen. Die berechnete Konzentrationsverteilung beaufschlagt den Messpunkt, jedoch ist die raumzeitliche Übereinstimmung zwischen Mess- und Rechenwert nicht besonders gut. Dies ist weitgehend unabhängig davon, ob mit oder ohne Kühlturmeinfluss und mit oder ohne Netzschachtelung gerechnet wird. Eine Beeinflussung der Ergebnisse durch Kühlturbetrieb bleibt zu überprüfen. Am Beispiel dieser Simulation konnte gezeigt werden, dass mit ARTM auch kürzer dauernde Emissionsepisoden - wie sie bei Störfallbetrachtungen auftreten - berechnet werden können.
- Im Rahmen der Bewertung und Validierung des diagnostischen Strömungsmodells TALdia zur Berücksichtigung des Einflusses von Gebäuden einschließlich Kühlturbauwerken unter Berücksichtigung des Betriebszustandes soll eine Schnittstelle zwischen ARTM und extern berechneten Wind- und Turbulenzfeldern geschaffen werden. - Solche externen Ergebnisfelder können einerseits durch mikroskalige Strömungsmodelle (z. B. FDS) bereitgestellt werden, die die Gebäudeumströmung - auch unter Berücksichtigung thermischer Effekte (Kühlturbetrieb) - realitätsnäher beschreiben als das einfachere TALdia. Andererseits können über die Schnittstelle auch die Ergebnisfelder mesoskaliger numerischer Wettervorhersagemodelle an ARTM übergeben werden. - Voruntersuchungen haben ergeben, dass solche Rechnungen sehr zeitaufwändig werden können. Aus diesem Grund ist zu erwarten, dass mit den heute zur Verfügung stehenden Rechnern vermutlich nur Episodenrechnungen und keine probabilistischen Jahresrechnungen möglich sein werden.

4.2 INFORMATIONS- UND ERFAHRUNGSAUSTAUSCH ZWISCHEN PROGRAMMENTWICKLER UND EXTERNEN ANWENDERN EINSCHLIEßLICH TECHNISCH-WISSENSCHAFTLICHER UNTERSTÜTZUNG VON BMU UND BFS

Während der Projektlaufzeit erfolgt eine parallele Erprobung der Modellerweiterungen durch externe Modell-anwender mit laufender Rückmeldung. Dies gewährleistet eine effiziente Lösung von Problemen, die bei den Erweiterungsarbeiten auftreten, sowie die Umsetzung möglicher Vorschläge zu den geplanten Erweiterungen.

Hierzu steht auf der GRS-Seite (www.grs.de) ein Internet-Auftritt für ARTM zur Verfügung, mit dem Informationen über ARTM abgerufen sowie die aktuellen Versionen des unter der GNU-Lizenz frei verfügbaren Programmpakets ARTM (einschließlich Quell-Programm) und der grafischen Benutzeroberfläche GO-ARTM heruntergeladen werden können. Für diese ARTM-Seite wird eine FAQ-Liste für häufig gestellte Fragen und den dazugehörigen Antworten zu ARTM vorbereitet. Kurzfristig wird diese FAQ-Liste zusammen mit einer Liste bekannter Probleme sowie einer aktualisierten Modellbeschreibung auf der Internet-Seite verfügbar gemacht. Das unter der GO-ARTM-Shell laufende vom BfS entwickelte und gleichfalls unter der GNU-Lizenz frei verfügbare Dosismodul DARTM wird ebenfalls in Kürze bereitgestellt.

Die unter www.grs.de/content/ausbreitungsmodellierung aufrufbare ARTM-Seite wird während der Projektlaufzeit in Absprache mit dem BfS entsprechend dem Vorhabensfortschritt gepflegt und erweitert. Die augenblicklich aktuelle Version von GO-ARTM trägt die Versionsnummer 1.07.

5. ERGEBNISSE

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

Aktuelle Fortschritte ergaben sich bei der in ARTM verwendeten Turbulenzparametrisierung: Die Anwendung der aus dem Jahre 2002 stammenden in der Richtlinie VDI 3783, Blatt 8, festgelegten Turbulenzparametrisierung in ARTM hat in der Vergangenheit in einigen Fällen zu unrealistisch schmalen Schadstofffahnen mit entsprechenden räumlichen Verteilungen der trocken und nass abgelagerten Stoffe geführt. - Der VDI-Arbeitsgruppe, die eine Anpassung VDI-Richtlinie vornehmen soll, liegen nun die Auswertungen verschiedener me-

teorologischer Messkampagnen vor (NDR-Sendemast Hamburg, SODAR-RASS-Daten vom Standort Kittsee (Österreich) und Meteo-Daten vom Meteorologischen Observatorium Lindenberg (MOL)). Die Ergebnisse erlauben die Formulierung alternativer und realitätsnäherer Ansätze zur Turbulenzparametrisierung. - In der VDI-AG sollen außerdem Ansätze zur Berücksichtigung des Einflusses kurzer Freisetzungzeiten auf die Konzentrationsverteilung zusammengestellt und überprüft werden. - Über die GRS-Mitarbeit in der VDI-AG ist gewährleistet, dass die dort erarbeiteten Ergebnisse direkt in ARTM umgesetzt werden. Schon jetzt ist es versuchsweise möglich, ARTM mit einer zu breiteren Fahnen führenden Turbulenzparametrisierung zu betreiben.

5.2 TECHNISCH-WISSENSCHAFTLICHE MODELLERWEITERUNGEN

Es steht eine ARTM-Versuchsversion zur Verfügung, an der laufend Analysen zur Programmstruktur vorgenommen und Programmänderungen getestet werden. Die aktuelle Versuchsversion bietet zurzeit folgende Möglichkeiten:

- optionale Aktivierung gezielter Kontrollausgaben, mit der Einzelheiten des Programmablaufes untersucht werden können,
- wahlweiser ARTM-Betrieb mit der zu sehr schmalen Fahnen führenden Turbulenzparametrisierung der VDI-RL 3783, Blatt 8 (ARTM-Standard-Parametrisierung) oder alternativ mit einem breitere Fahnen liefernden Grenzschichtmodell,
- Ausgabe von Zeitreihen trocken und nass abgelagerter Radionuklide sowie Ausgaben von Gamma-Submersionsfaktoren zur Berechnung der Gamma-Submersionsdosis an Bezugspunkten,
- wahlweise Ausgabe nur bodennaher 2-dimensionaler Konzentrationsfelder (an Stelle 3-dimensionaler Felder),
- optionale Unterdrückung der zeitaufwändigen Berechnung und Ausgabe der Felder zur Bestimmung der Gammasubmersion.

Die im Rahmen der Modellerweiterungen vorgenommenen Programmänderungen wurden laufend durch Kontrollrechnungen mit Vorläuferversionen von ARTM verifiziert und sind in einer History-Datei dokumentiert.

Zur Optimierung der Rechenzeit von ARTM wurde ein Konzept entwickelt, nach dem ein zeitaufwändiges ARTM-Projekt (z. B. bei komplexen Gebäudestrukturen) mit mehreren gleichzeitig rechnenden Computern bearbeitet werden kann, indem alle beteiligten Computer auf eine zentral abgelegte Strömungsfeldbibliothek zugreifen und Zwischenergebnisse ebenfalls zentral verwaltet werden. Hierzu wurden vorbereitende Arbeiten hinsichtlich der Adressierung der zentralen Strömungsfeldbibliothek durchgeführt.

Die folgenden technisch-wissenschaftlichen Erweiterungen betreffen die anwenderfreundliche Benutzeroberfläche GO-ARTM:

- Nuklid-Editor, mit dem die standardmäßig vorgegebenen ARTM-Parameter, z. B. die ARTM-Nuklidliste, benutzerfreundlich erweitert oder modifiziert werden können,
- kml-Export der graphischen GO-ARTM-Darstellungen von Ergebnisfeldern (ARTM und Dosismodul DARTM, s. u.) zur Verwendung in Geo-Browsern,
- Einbeziehung des externen vom BFS erstellten Dosismoduls DARTM in GO-ARTM, das die vorberechneten ARTM-Felder für nachfolgende Dosisberechnungen verwendet,
- Berechnung und Angabe der Niederschlagssumme bei Anwahl der Ausgabe der meteorologischen Statistik (AKS) in GO-ARTM,
- Arbeiten zur Steuerung von ARTM-Läufen im Anwendungsbereich der SBG mit Katasterklasseneditor und einem Editor für Gebäudedaten,
- Entwicklung eines Prototyp-Radon-Postprozessors zur Berechnung der bodennahen Konzentration von Rn-Folgeprodukten,
- Entwicklung eines DMNA-Rechen-Tools (dmna-kalk.exe) zur Zusammenführung verschiedener ARTM-Ergebnisfelder (dmna-Dateien), z. B. für die Berechnung der über mehrere Jahre gemittelten Konzentrationen aus mehreren einjährigen ARTM-Mittelwerten. Mit diesem Hilfsprogramm kann auch eine durch einen geschlossenen Polygonzug (z. B. Anlagenzaun) definierte Region in einer dmna-Datei ausgeblendet werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeiten zu 2.2, 2.3 und 2.4 werden wie geplant fortgeführt.

Thema Bundesweiter Überblick über die Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen			
Subject <i>Nationwide survey of the radiocaesium contamination of wild boars</i>			
Kennzeichen 3607S04561	Beginn 01.01.2008	Ende 30.06.2011	Fördermittel EUR 336.023,-
Forschungs- / Auftragnehmer Dr. Fielitz Umweltanalysen, Hambühren			
Projektleitung Dr. U. Fielitz	Fachbetreuung BfS Dr. M. Steiner / SW 1.6	verantwortlich für den Text Dr. U. Fielitz	

1. ZIELSETZUNG

Wildschweinfleisch ist ein Nahrungsmittel, das als Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl noch immer hoch kontaminiert sein kann. In einigen Gebieten der Bundesrepublik wird der Grenzwert für Radiocäsium von 600 Bq/kg häufig überschritten. Ziel des Forschungsvorhabens ist zum einen, die vorliegenden Messungen zur Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen in Deutschland möglichst vollständig zu erfassen, und zum anderen, eine Landkarte mit der potenziellen Kontamination von Wildschweinen zu erstellen. Insgesamt ergibt sich damit ein bundesweites Bild über die tatsächliche (Messwerte) oder mögliche (Prognosewerte) Kontamination dieser Tiere.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben untergliedert sich in drei Arbeitspakete. Im ersten Arbeitspaket sollen die bundesdeutschen Messungen zur Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen sowie die kontaminationsbestimmenden Einflussfaktoren möglichst vollständig recherchiert und ortsbezogen zusammengestellt werden. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse soll im zweiten Arbeitspaket mit Hilfe eines radioökologischen Modells eine Landkarte Deutschlands mit der zu erwartenden Kontamination von Wildschweinen erstellt werden. Im dritten Arbeitspaket soll diese Karte durch stichprobenartige Messungen des Muskelfleisches in ausgesuchten, bisher nicht systematisch beprobten Gebieten validiert werden.

3. METHODIK

Die im ersten Arbeitspaket erhobenen Daten werden in ein geografisches Informationssystem (GIS) überführt, wodurch die ortsbezogene Analyse und kartografische Darstellung der Daten möglich ist. Im Arbeitspaket 2 wird ein vereinfachtes radioökologisches Modell zur Prognose der Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen entwickelt und in das GIS-Projekt integriert. Über eine Menüauswahl ist es dann möglich, die zu erwartende Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen für beliebige Orte und Zeitpunkte zu berechnen. Die prognostizierten Daten zur Cs-137-Kontamination von Wildschweinen werden im dritten Arbeitspaket validiert. Dazu werden die Modelldaten mit realen Messwerten aus fünf Untersuchungsgebieten verglichen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PROGNOSE DER RADIOCÄSIUMKONTAMINATION VON WILDSCHWEINEN

Das 2009 als Entwurf entstandene radioökologische Modell wurde grundlegend weiter entwickelt und in einem geografischen Informationssystem als ArcView-Projekt EcoWild realisiert. Mit EcoWild kann die Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen bundesweit für jede beliebige Gemeinde prognostiziert werden. Dazu wurde eine Benutzeroberfläche mit verschiedenen Schaltflächen entworfen, über die Eingabe- und Befehlsfelder aufgerufen werden können.

4.2 VALIDIERUNG DER KONTAMINATIONSKARTE

Zur Validierung der Kontaminationskarte wurden fünf Untersuchungsgebiete ausgewählt. In diesen Gebieten werden Proben des Muskelfleisches von Wildschweinen, von Hirschtrüffeln und des sie umgebenden Bodens entnommen und auf ihren Radiocäsiumgehalt analysiert.

5. ERGEBNISSE

5.1 PROGNOSE DER RADIOCÄSIUMKONTAMINATION VON WILDSCHWEINEN

Der bisherige Entwurf von EcoWild ermöglichte nur die Berechnung der Cs-137-Kontamination von Wildschweinen für Orte bzw. Flächenelemente mit Hirschtrüffelvorkommen, dem für die Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen bedeutendsten Nahrungsbestandteil. Das Projekt wurde so erweitert, dass in der aktuellen GIS-Version die Aktivitätsberechnung für jedes beliebige Flächenelement möglich ist.

Konzeptionelle Änderungen des radioökologischen Modells ergaben sich durch die Ergebnisse der Freilanduntersuchungen in den fünf Untersuchungsgebieten: Da bisher keine Informationen vorlagen, ob sich die beiden häufigsten Hirschtrüffelarten *Elaphomyces granulatus* (Feinwarzige Hirschtrüffel) und *Elaphomyces muricatus* (Bunte Hirschtrüffel) hinsichtlich der Cs-137-Kontamination unterscheiden, wurden repräsentative Proben beider Spezies genommen und gamma-spektrometrisch gemessen. Die Untersuchungen ergaben keine signifikanten Unterschiede in der Radiocäsiumkontamination beider Trüffelarten, weshalb nicht mehr, wie ursprünglich geplant, zwischen *E. granulatus* und *E. muricatus* als eigene Nahrungskategorien unterschieden werden muss, sondern einheitlich mit „Hirschtrüffeln“ gerechnet werden kann. Darüber hinaus ergaben die Arbeiten in den Untersuchungsgebieten, dass Hirschtrüffeln definitiv auch unter Bodenbewuchs vorkommen, obwohl das in der Literatur verneint wird. Für die radioökologische Modellierung wurde daher das generische Nahrungsspektrum für Wälder ohne Hirschtrüffelvorkommen verworfen.

Weitere Anpassungen des Modells ergaben sich durch die Praxis: Die Nahrungsaufnahme der Wildschweine auf Wiesen und landwirtschaftlichen Flächen musste bei der radioökologischen Modellierung detaillierter als ursprünglich geplant berücksichtigt werden. In der endgültigen Software-Version wird die Nahrungsaufnahme der Wildschweine jetzt erweitert und durch folgende generische Nahrungskategorien modelliert: 1. Hirschtrüffeln (*E. granulatus* und *E. muricatus*), 2. Waldboden, 3. Pflanzen Wald, 4. Pflanzen und Früchte Ackerflächen, 5. Boden Ackerflächen, 6. Pflanzen Dauergrünland und 7. Boden Dauergrünland.

Je nachdem, ob Wildschweine im Wald oder zum Beispiel auf Maisfeldern Futter suchen, variiert das Nahrungsspektrum. Im Modell wird jedem Ort bzw. dem zugeordneten Flächenelement (Größe eines Flächenelements im GIS 3 km x 3 km) ein charakteristisches Nahrungsspektrum zugeordnet. Vereinfachend wird im Modell mit drei Nahrungsspektren gerechnet: 1. Wald, 2. Ackerflächen und 3. Dauergrünland.

Zum Thema Mast durch Baumfrüchte (Bucheckern, Eicheln, Maronen etc.) wurden umfangreiche Erweiterungen in EcoWild eingearbeitet. In Mastmonaten nehmen Wildschweine niedrig kontaminierte Früchte auf, was zu einer deutlichen Abnahme der Cs-137-Kontaminationen im Muskelfleisch führt. Benutzerdefiniert konnten Mastjahre im Prognosemodell bereits berücksichtigt werden, allerdings wurden Cs-137-Kontaminationen von Wildschweinen für alle Flächenelemente unabhängig von der Baumzusammensetzung berechnet. In der aktuellen Software sind für die 3 km x 3 km großen Flächenelemente genaue Angaben über die Zusammensetzung der Baumarten in einer Shape-Datei hinterlegt. Damit können die für die Mast relevanten Früchte Bucheckern, Eicheln oder Maronen ortsgenau zugeordnet werden. Die Software rechnet nun auch nicht mehr mit festen Cs-137-Aktivitätswerten für diese Baumfrüchte, sondern berechnet die Kontamination für den ausgewählten Ort über das radioökologische Modell.

5.2 VALIDIERUNG DER KONTAMINATIONSKARTE

Im Jahr 2010 wurden in den Untersuchungsgebieten Hirschtrüffeln und der sie umgebende Boden beprobt, um erstmals mögliche Unterschiede in der Cs-137-Kontamination zwischen *E. granulatus* und *E. muricatus* feststellen zu können. Die Probennahme ist aufwändig, da Fruchtkörper von Hirschtrüffeln in dem Bodenbereich von 2 cm bis 24 cm Tiefe gefunden wurden und Aufsammlungen nur vereinzelt vorkommen. Entsprechend mussten größere Bodenvolumina genau durchsucht werden, was durch die stark durchwurzelten Waldböden sehr erschwert war.

Von 2009 bis 2010 wurden insgesamt 106 Proben von *E. granulatus* und 27 Proben von *E. muricatus* auf die Cs-137-Kontamination gemessen. Die Mittelwerte für beide Trüffelarten unterschieden sich in den einzelnen Untersuchungsgebieten, abgesehen von einer Ausnahme, nicht. Die mittlere Radiocäsiumaktivität, bezogen

auf alle Proben und die Frischsubstanz, betrug für *E. granulatus* 1.197 Bq/kg und für *E. muricatus* 1.344 Bq/kg.

Alle gemessenen Proben wurden in EcoWild ortsgenau erfasst. Mit Hilfe eines selbst erstellten Computerprogramms wurden die Cs-137-Messwerte von Wildschweinproben und Hirschtrüffeln automatisiert georeferenziert (Kartendarstellung in der Projektion Universal Transverse Mercator (UTM), Zone 32) und in EcoWild als Shape-Datei eingebettet.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die genannten Änderungen bei der radioökologischen Modellierung werden in EcoWild umgesetzt und das GIS-Projekt für die endgültige Übergabe vorbereitet.

Im Frühjahr 2011 werden noch Muskelfleischproben von Wildschweinen aus den Untersuchungsgebieten erwartet. Anhand der dann vorliegenden Messdaten wird die mit dem radioökologischen Modell im Arbeitspaket 2 prognostizierte Cs-137-Kontamination von Wildschweinen validiert. Danach wird der Abschlussbericht erstellt.

Thema			
Vergleichende Betrachtung der probabilistischen/stochastischen und deterministischen Modellierung von Expositionen im Hinblick auf die Belastbarkeit des Modellergebnisses und die Anforderung an die Qualität der Eingangsdaten			
Subject			
<i>Comparative examination of probabilistic/stochastic and deterministic exposure modelling with regard to the reliability of the modelling results and the requirements concerning the quality of input data</i>			
Kennzeichen 3609S50002	Beginn 01.01.2010	Ende 31.12.2011	Fördermittel EUR 170.170,-
Forschungs- / Auftragnehmer Brenk Systemplanung GmbH, Aachen			
Projektleitung Dr. R. Barthel	Fachbetreuung BfS Dr. M. Steiner / SW 1.6		verantwortlich für den Text Dr. R. Barthel, Dr. S. Thierfeldt

1. ZIELSETZUNG

Mit dem aktuellen Vorhaben soll geklärt werden, unter welchen Randbedingungen (Fragestellung/Zweck, Expositionssituation, Qualität der Eingangsdaten etc.) den radioökologischen Modellen zur Expositionsberechnung deterministische bzw. probabilistische Ansätze zu Grunde gelegt werden können oder sollten. Für probabilistische und weitere Ansätze zur Modellierung von Unsicherheiten sind Mindestanforderungen an die Qualität der Eingangsdaten sowie methodische Aspekte zu untersuchen und im Vergleich zur deterministischen Expositionmodellierung bzgl. ihrer Belastbarkeit zu bewerten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Wie in anderen gesellschaftlichen Bereichen besteht auch im Strahlenschutz die Notwendigkeit, Bewertungen und Entscheidungen bei unsicherem Wissen vorzunehmen. Dies betrifft Szenario-, Modell- und Parameterunsicherheiten, die zur Analyse und Bewertung möglicher Quellen und ihrer Auswirkungen auf die Expositionsmodellierung hierarchisch geordnet werden können. Der Schwerpunkt des aktuellen Projekts liegt in der Untersuchung und vergleichenden Bewertung von Methoden zur Berücksichtigung von Parameterunsicherheiten durch konservative deterministische Expositionsberechnungen bzw. mit Hilfe von probabilistischen Modellrechnungen, insbesondere mittels Monte-Carlo-Simulation und mit BAYES-Verfahren. Darüber hinaus sind alternative Methoden zur Modellierung von Unsicherheiten zu untersuchen. Die Bearbeitung dieser Thematik erfolgt in drei Arbeitspaketen mit spezifischen Zielen.

2.1 LITERATURRECHERCHE ZUM STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Im Rahmen des ersten Arbeitspakets soll der nationale/internationale Stand von Wissenschaft und Technik zur probabilistischen/stochastischen Modellierung von Expositionen recherchiert und beschrieben werden. Weitere zur Berücksichtigung von Parameterunsicherheiten angewandte Methoden sollen vergleichend gegenübergestellt werden.

2.2 AUSSAGEKRAFT DER MODELLPROGNOSEN BEI UNSICHEREN EINGANGSDATEN

Dieser Unterpunkt beinhaltet die Untersuchung und vergleichende Bewertung der Aussagekraft von Modellprognosen bei unsicheren Eingangsdaten, die mit Hilfe deterministischer, probabilistischer/stochastischer bzw. auch weiterer Modellierungsansätze erreicht werden kann, für verschiedene Klassen relevanter Unsicherheiten, Modellierungsansätze, Modellstrukturen, Fragestellungen und Bezugspersonen.

2.3 ENTSCHEIDUNGSHILFEN ZUR WAHL GEEIGNETER MODELLIERUNGSANSÄTZE

In diesem Arbeitsabschnitt sollen Entscheidungshilfen/Kriterien erarbeitet werden, nach denen unter gegebenen Randbedingungen beurteilt werden kann, welchem Modellierungsansatz der Vorzug zu geben ist. Insbesondere sind Kriterien zu Mindestanforderungen an die Qualität der Eingangsdaten zu formulieren, die zur Anwendung der unterschiedlichen Methoden der Expositionsmodellierung für bestimmte Fragestellungen zu erfüllen sind.

3. METHODIK

3.1 LITERATURERECHERCHE ZUM STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Ausgehend von der Einordnung von Expositionsmodellen in Risikoabschätzungen und einer Darstellung mathematischer Strukturen (radio-)ökologischer Expositionsmodelle unterschiedlicher Komplexität wird eine umfassende Recherche zu Methoden der Modellierung aleatorischer und epistemischer Unsicherheiten sowie ihrer Anwendung für Expositionsrechnungen nach Stand von Wissenschaft und Technik durchgeführt. Da die Nutzung probabilistischer Methoden der Expositionsmodellierung sowie von Methoden, welche die Ungenauigkeit der Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten durch nicht-additive Maße (Evidenztheorie, Möglichkeitstheorie) erfassen, im konventionellen Umwelt- und Gesundheitsschutz schon weit fortgeschritten ist, wird die Recherche zu den methodischen und anwendungsspezifischen Aspekten der Expositionsmodellierung nicht auf radiologische Fragestellungen beschränkt, auch wenn diese bzgl. des Standes der Anwendung der Methoden im Fokus der Recherche stehen.

3.2 AUSSAGEKRAFT DER MODELLPROGNOSEN BEI UNSICHEREN EINGANGSDATEN

Für die Untersuchung der Aussagekraft von Modellprognosen bei aleatorischen (durch die reale Variabilität von Modellparametern bedingte) sowie epistemischen (durch fehlendes bzw. unzureichendes Wissen bedingte) Parameterunsicherheiten werden unterschiedliche Modellstrukturen, wie

- Summe multiplikativer Expositionsbeiträge (multiplikative Expositionspfadmodelle),
- Systeme gewöhnlicher Differentialgleichungen 1. Ordnung (Kompartiment-Modelle),
- Systeme partieller Differentialgleichungen (z. B. zur Schadstoffmigration im Boden)

mit bekannten Methoden der Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse analysiert. Ziel ist es, die Anwendung deterministischer, probabilistischer und weiterer Ansätze der Expositionsmodellierung vergleichend zu bewerten und Anforderungen an die erforderliche Qualität der Eingangsdaten abzuleiten.

3.3 ENTSCHEIDUNGSHILFEN ZUR WAHL GEEIGNETER MODELLIERUNGSANSÄTZE

Kriterien für die Wahl geeigneter Modellierungsansätze werden auf Basis der Ergebnisse vom zweiten Arbeitspaket in Abhängigkeit vom Zweck der Expositionsmodellierung für konkrete Expositionssituationen und in Abhängigkeit von der vorhandenen bzw. mit angemessenem Aufwand erreichbaren Qualität der Eingangsdaten abgeleitet. Für alternative Vorgehensweisen wird ein Entscheidungsfindungsschema zur Wahl geeigneter Methoden entwickelt.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Arbeitspakete werden nacheinander bearbeitet. Die Ergebnisse der Bearbeitung vom ersten Arbeitspaket wurden in einem 1. Zwischenbericht dokumentiert, der nach Bearbeitung von Arbeitspaket 2 in einem 2. Zwischenbericht fortgeschrieben und nach Bearbeitung des Arbeitspakets 3 zu einem Abschlussbericht ergänzt wird. Das Vorhaben wird federführend durch Mitarbeiter der Brenk Systemplanung GmbH bearbeitet, die langjährige Kenntnisse und Erfahrungen im Strahlenschutz und insbesondere zur radioökologischen Modellierung und statistischen Analyse besitzen. Neben internen Qualitätssicherungsmaßnahmen erfolgt eine Qualitätskontrolle und Unterstützung durch das Institut für Radioökologie und Strahlenschutz der Universität Hannover (Prof. Dr. R. Michel). Die Ergebnisse des Vorhabens werden der Strahlenschutzkommission oder einer ihrer Ausschüsse bzw. Arbeitsgruppen vorgestellt.

5. ERGEBNISSE

Der Zwischenbericht zu den Ergebnissen der Bearbeitung vom ersten Arbeitspaket wurde im Oktober 2010 vorgelegt. Es wurden folgende vorläufige Schlussfolgerungen gezogen:

- Deterministische Expositionsabschätzungen sind für Screening-Analysen und unkritische Fälle geeignet. Es resultieren aber oft überkonservative Abschätzungen. Generell sind die Unsicherheiten der Ansätze und der Bezug der Ergebnisse auf real vorhandene Variabilitäten von Modellparametern nicht oder zumindest nicht offenbar nachvollziehbar.
- Probabilistische Expositionsabschätzungen sind mittels einfacher (1-dimensionaler) Monte-Carlo-Simulation oder durch die alternative Anwendung von BAYES-Methoden mit verfügbarer Software gut realisierbar. Es bestehen jedoch einige offene Fragen zur Anwendung von „Default“-Verteilungen für

Inputparameter: Zudem werden die Auswirkungen epistemischer Unsicherheiten hierbei nicht separat quantifiziert und gemäß den tatsächlich vorhandenen Kenntnissen behandelt und interpretiert.

- 2-dimensionale Monte-Carlo-Simulationen zur Separation der Auswirkungen von aleatorischen und epistemischen Unsicherheiten sind im Grunde gut verständlich. Sie sind jedoch für große/komplexe Systeme mit relativ hohem rechentechnischen Aufwand verbunden.
- Verknüpfungen von probabilistischen mit possibilistischen Methoden sind aussichtsreich, um aleatorische sowie epistemische Unsicherheiten von Expositionsabschätzungen adäquat zu quantifizieren und darzustellen. Eine relativ einfache Variante ist hierbei die für konservative Abschätzungen geeignete p-Box-Methode.

Die Anwendung probabilistischer/stochastischer bzw. alternativer Ansätze zur Behandlung aleatorischer und epistemischer Unsicherheiten bei der Modellierung von Expositionen ist im konventionellen Umwelt-/Gesundheitsschutz weiter verbreitet als im Strahlenschutz, findet aber auch hier zunehmende Akzeptanz und dürfte insbesondere für radiologische Bewertungen aufwändiger Maßnahmen/Vorhaben in Zukunft an Bedeutung gewinnen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Schwerpunkt der weiteren Projektbearbeitung ist die Untersuchung der Aussagekraft von Modellprognosen, die mit Hilfe von deterministischen bzw. probabilistischen oder possibilistischen Modellierungsansätzen bei unsicheren Eingangsdaten erreicht werden kann. Es werden verschiedene Klassen relevanter Unsicherheiten, Modellierungsansätze, Modellstrukturen, Fragestellungen und Bezugspersonen untersucht. Die Nutzung globaler Sensitivitätsanalysen sowie eine adäquate Spezifizierung probabilistischer bzw. possibilistischer Verteilungen sind hierbei spezielle Aspekte.

Thema			
Fachliche Unterstützung des BfS bei der Erstellung von Referenzbiosphärenmodellen für den radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern - Biosphären-Szenarioanalyse für potenzielle Endlagerstandorte			
Subject			
<i>Supporting the Federal Office for Radiation Protection in the development of reference biosphere models for the radiological long-term safety assessment - Biosphere scenario analysis for potential waste repository sites</i>			
Kennzeichen 3609S50004	Beginn 21.07.2009	Ende 31.07.2011	Fördermittel EUR 224.647,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH			
Projektleitung Dr. B. Förster	Fachbetreuung BfS Dr. J. Gerler / SW 1.7		verantwortlich für den Text Dr. B. Förster

1. ZIELSETZUNG

Beim Langzeitsicherheitsnachweis für ein Endlager ist u. a. darzustellen, welche potenziellen Strahlenexpositionen für Mensch und Umwelt bei der Freisetzung von Radionukliden aus dem Endlager auftreten können. Dabei sind die geologischen und klimatischen Veränderungen im Betrachtungszeitraum von einer Million Jahre und die damit verbundenen Veränderungen der Expositionsbedingungen zu berücksichtigen. Im Rahmen dieses Vorhabens soll ausgehend von der Analyse der geologischen und klimatischen Entwicklung in der Vergangenheit die mögliche zukünftige Entwicklung der Biosphäre und der Expositionsbedingungen für Referenzregionen in Deutschland abgeschätzt werden. Die Auswirkungen dieser Veränderungen auf den Transport von Radionukliden in der Biosphäre und die Strahlenexposition von Referenzpersonen werden im zeitversetzt laufenden Vorhaben 3609S50005 untersucht.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUSWAHL GEEIGNETER REFERENZREGIONEN

Die aktuelle Situation zur Standortauswahl in Deutschland wird analysiert und im Ergebnis dessen je eine Region in Nord- und Süddeutschland als Referenzregion ausgewählt.

2.2 REGIONSSPEZIFISCHE ANALYSEN DER PHYSIKALISCHEN BIOSPHÄRE IM QUARTÄR

Für die Referenzregionen wird eine Naturraumanalyse durchgeführt und somit die physikalische Biosphäre charakterisiert. Dazu sind geowissenschaftliche und klimatische Gegebenheiten in der Gegenwart und im Quartär zu analysieren.

2.3 REGIONSSPEZIFISCHE ANALYSEN DER EXPOSITIONSPFADE IM QUARTÄR

Es werden mögliche Expositionspfade für die Referenzregionen ermittelt. Dazu ist der potenzielle Schadstofftransfer in die Nahrungsketten darzulegen.

2.4 ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN DER PHYSIKALISCHEN BIOSPHÄRE

Die zukünftigen Entwicklungen der physikalischen Biosphäre in den Referenzregionen für den Betrachtungszeitraum von 1 Million Jahre wird unter Berücksichtigung möglicher Klimaentwicklungen prognostiziert. Im Ergebnis werden repräsentative Biosphärensysteme (Referenzbiosphären) beschrieben.

2.5 ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN VON EXPOSITIONSPFADEN

Die Auswirkungen zukünftiger Entwicklungen der physikalischen Biosphäre auf expositionsrelevante Prozesse und auf mögliche Expositionspfade werden analysiert und anhand dieser Ergebnisse relevante Prozesse, Pfade und Biosphären-Szenarien dargelegt.

2.6 ENTWICKLUNG UND BESCHREIBUNG REGIONSSPEZIFISCHER BIOSPHÄRENMODELLE

Die Referenzbiosphärenmodelle werden beschrieben und geeignete Parameter für die Modellierung vorgeschlagen.

3. METHODIK

Die Entwicklung der Referenzbiosphärenmodelle orientiert sich an der international anerkannten Leitlinie der BIOMASS-Methodologie.

Die Prognose der zukünftigen Entwicklung des Klimas in den Referenzregionen beruht auf den international anerkannten Erkenntnissen des Projekts BIOCLIM und des Weiteren auf der fortschreitenden quartären Klimaentwicklung in den nächsten 1 Million Jahren.

Auf der Basis der Entwicklung der physikalischen Biosphäre im Quartär werden die in der Zukunft möglichen Biosphärensysteme für Klimazustände und Klimaübergänge beschrieben. Es wird angenommen, dass sich die entsprechenden Entwicklungen der physikalischen Biosphäre aus dem Quartär auf die nächsten 1 Million Jahre übertragen lassen.

Die in der Zukunft möglichen Veränderungen der Biosphärensysteme werden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Expositionspfade betrachtet. Anhand der relevanten Prozesse, Expositionspfade und Biosphärensysteme werden abschließend repräsentative Biosphärensysteme ausgewählt und modellhaft beschrieben.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Arbeiten werden von der GRS Braunschweig und ihren Projektpartnern in Abstimmung mit dem BfS durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUSWAHL GEEIGNETER REFERENZREGIONEN

Im ersten Arbeitsschritt wurden geeignete Gebiete in Nord- und Süddeutschland als Referenzregionen ausgewählt und dem BfS vorgeschlagen. Es sind dies die Regionen „Weser“ und „Elbe“ in Norddeutschland und die Region „Ulm“ in Süddeutschland.

5.2 REGIONSSPEZIFISCHE ANALYSEN DER PHYSIKALISCHE BIOSPHÄRE IM QUARTÄR

Für die Referenzregionen wurden jeweils eine Naturraumanalyse durchgeführt und die gegenwärtige physikalische Biosphäre dargelegt. Im Ergebnis dessen wurden charakteristische Merkmale, Ereignisse und Prozesse (FEP) beschrieben, regionsspezifische FEP-Listen erstellt und Biosphärentypen identifiziert.

Die Referenzregionen in Norddeutschland werden gegenwärtig durch die terrestrischen Naturräume Moräne, Sander und Flussaue sowie durch die aquatischen Naturräume Fluss, See und Moor repräsentiert. Zwischen diesen Naturräumen gibt es weitgehend ungehinderten Austausch von Feststoffen und Wasser.

Die Referenzregion in Süddeutschland wird gegenwärtig durch die terrestrischen Naturräume Alb (Karst), Schotter (Terrassenlandschaft) und Flussaue sowie durch die aquatischen Naturräume Fluss, See und Moor repräsentiert. Auch hier gibt es zwischen den Naturräumen weitgehend ungehinderten Austausch von Feststoffen und Wasser.

5.3 REGIONSSPEZIFISCHE ANALYSEN DER EXPOSITIONSPFADE IM QUARTÄR

Für die gegenwärtigen Naturräume bzw. Biosphärensysteme wurden potenzielle Expositionspfade ermittelt und modellhaft beschrieben. Berücksichtigt wurden die Ausbreitung der Radionuklide in die vom Boden und Gewässer ausgehenden Nahrungsketten bis zur Exposition des Menschen durch Inhalation und Ingestion. Die FEP-Listen wurden dahingehend ergänzt.

In Abstimmung mit dem BfS wurde festgelegt, dass die zwei Referenzregionen in Norddeutschland zu einem generischen Referenzgebiet zusammengefasst werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeiten zu den weiteren Zielsetzungen werden planmäßig fortgesetzt und mit der Erstellung des Abschlussberichts im Jahr 2011 abgeschlossen.

Thema

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

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 - Modeling the radionuclide transport in biosphere compartments

Kennzeichen

3609S50005

Beginn

01.11.2009

Ende

29.02.2012

Fördermittel

EUR 384 797,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Helmholtz Zentrum München, mit
Universität Bremen, Landesmessstelle für Radioaktivität, als Unterauftragnehmer

Projektleitung

Dr. J. Chr. Kaiser

Fachbetreuung BfS

Dr. J. Gerler / SW 1.7

verantwortlich für den Text

Dr. Chr. Staudt, Dr. V. Hormann

1. ZIELSETZUNG

Bei der Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle in geologischen Formationen können Freisetzungen von Radionukliden aus dem Endlager langfristig nicht ausgeschlossen werden. Durch Langzeitsicherheitsnachweise über einen Zeitraum von einer Million Jahre ist zu zeigen, welche potenziellen Strahlenexpositionen dabei für Mensch und Umwelt entstehen können. Den Betrachtungen sind stilisierte Ökosysteme zu Grunde zu legen, die die aus heutiger Sicht wesentlichen Expositionspfade berücksichtigen (Referenzbiosphären). Die als Eingangsgrößen hierfür benötigten Informationen über die möglichen geologischen und klimatischen Veränderungen im Betrachtungszeitraum und die damit verbundenen Entwicklungen der physikalischen Biosphäre werden im zeitversetzt laufenden Vorhaben 3609S50004 untersucht.

Ziel dieses Projektes ist die Modellierung des Transports von Radionukliden von der Geosphären-Biosphären Grenze durch die Biosphäre zum Menschen im Falle eines Austritts von Radionukliden aus dem Endlager. Dabei soll ermittelt werden, inwieweit die Beschaffenheit der betroffenen Biosphäre und die Gewohnheiten der Bevölkerungsgruppe die Strahlenexposition beeinflussen. Dies geschieht durch die repräsentative Berechnung von Biosphären-Dosiskonversionsfaktoren (Biosphere Dose Conversion Factors, BDCFs) für verschiedene Bevölkerungsgruppen in den Referenzbiosphären.

Der Übergang von langlebigen Radionukliden aus der Geosphäre in die Biosphäre wird durch eine Reihe bodenchemischer und -physikalischer Faktoren bestimmt, die i. A. standort- und auch klimaabhängig sind. Entscheidend für den Übergang in die Pflanze sind dabei chemische Form und Konzentration sowie Sorptions- und Transportverhalten des betreffenden Nuklids. Diese Parameter werden mit Hilfe eines speziellen Bodenmodells abgeschätzt.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 REFERENZBIOSPHERÄN INNERHALB DEUTSCHLANDS BEI HEUTIGEM KLIMA

Innerhalb von Deutschland werden drei Referenzbiosphären unter heutigen Bedingungen betrachtet und modelliert. Dazu gehören zwei Standorte in Norddeutschland, in der Region Elbe und in der Region Weser/Aller, sowie ein Standort in Süddeutschland in der Region Ulm. Diese Regionen unterscheiden sich sowohl im Klima, als auch in der Ausprägung der landwirtschaftlich genutzten Böden.

2.2 REFERENZBIOSPHERÄN BEI KLIMAWANDEL

Zur Berücksichtigung möglicher Klimaänderungen während des Nachweiszeitraumes werden sogenannte Referenzklimastationen verwendet. Es werden sowohl Änderungen der Temperatur als auch Änderungen der Niederschlagsmengen betrachtet, die zu Veränderungen bei den landwirtschaftlich genutzten Böden und zu Veränderungen bei der landwirtschaftlichen Produktion und den Verzehrsgewohnheiten der betroffenen Bevölkerungsgruppen führen. Durch diese Auswahl wird gewährleistet, dass alle realistisch möglichen Änderun-

gen des Klimas, vordefiniert durch die Betrachtung paleoklimatischer Daten der letzten 400.000 Jahre, berücksichtigt werden können.

2.3 BESCHREIBUNG DER BODENPARAMETER

Den drei Referenzbiosphären in Deutschland wurden zunächst zwei sogenannte Referenzböden aus dem REFESOL-Projekt des BMU zugeordnet, die für die Standorte als repräsentativ angenommen werden und deren Eigenschaften gut untersucht sind. Gegebenenfalls können in Absprache mit den Projektpartnern noch weitere Referenzböden ausgewählt werden.

3. METHODIK

Das Biosphärenmodell wurde nach der BIOMASS Methodologie der IAEA in dem Program ECOLEGO erstellt. Neben der Erstellung eines vollständigen und nachvollziehbaren mathematischen Modells sind vor allem die Auswahl und Begründung der verwendeten Modellparameter von entscheidender Bedeutung.

Um die Nuklidverteilung im Boden und ihre Abhängigkeit von den Umweltbedingungen abschätzen zu können, wurde mit Hilfe des geochemischen Codes PHREEQC ein Mehrkomponentenmodell entwickelt, das in der Lage ist, bei gegebenen Ausgangsparametern die Speziations- und Sorptionseigenschaften eines in die Bodenmatrix eingetragenen Radionuklids abzubilden. Der Fokus liegt dabei zunächst auf Cs-137, U-238, Se-79 und Ni-63.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERSTELLUNG DES BIOSPHÄRENMODELLS

Für das Biosphärenmodell wurden FEP Listen (Features, Events and Processes) abgeleitet, die alle relevanten Eigenschaften und Prozesse der Referenzbiosphärenmodelle berücksichtigen. Anschließend wurden zur Strukturierung des Biosphärenmodells Interaktionsmatrixen erstellt. Potenzielle Stoffflüsse zwischen den einzelnen Kompartimenten wurden mit mathematischen Gleichungen aus der wissenschaftlichen Literatur dargestellt und in das Modell eingebaut.

4.2 AUSWAHL DER BIOSPHÄRENMODELLPARAMETER

Die verwendeten Parameter wurden der Literatur entnommen. Hauptquellen waren zum Beispiel IAEA Tec-Docs, die Strahlenschutzverordnung, Tabellen der FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) zu den Verzehrsgewohnheiten unterschiedlicher Bevölkerungen, Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes und Parameter aus wissenschaftlichen Studien. Grundsätzlich sollten die Parameter in einer Art und Weise ausgewählt werden, dass das Ergebnis die realistisch höchst mögliche Strahlenexposition der betroffenen Bevölkerungsgruppe darstellt.

4.3 AUSWAHL UND MODIFIKATION DER THERMODYNAMISCHEN DATENBASIS FÜR DAS BODENMODELL

Für die Speziations- und Sorptionsrechnungen wird eine Datenbasis benötigt, die die Reaktionskonstanten für alle benötigten, im Boden ablaufenden Prozesse enthält. Als Grundlage wurde die NAGRA-Datenbasis gewählt, die noch um einige Spezies und Sorptions- bzw. Austauschkonstanten erweitert wurde.

4.4 KOMPONENTEN DES BODENMODELLS

Die im oben angegebenen Speziations- und Sorptionsmodell implementierten Hauptprozesse sind:

- Austausch und Sorption an Tonpartikeln (Modell von Bradbury und Baeyens 2000-2009);
- Sorption an oxalateextrahierbaren Eisen- und Aluminiumoxidpartikeln (Modell von Dzombak und Morel 1990);
- Sorption an ortsfester und gelöster organischer Substanz (Modell von Tipping 1998/2002, zwei Untermodelle)

Das Modell kann mit vertretbarem Aufwand um weitere Nuklide erweitert werden.

5. ERGEBNISSE

Nach Begutachtung der vorhandenen Literatur wurde ein modulares Biosphärenmodell nach BIOMASS Methodologie erstellt und die Parameter für dieses Modell aus der Literatur entnommen.

Das Bodenmodell liefert in ersten Gleichgewichtsrechnungen Verteilungskoeffizienten für die beiden Refesolböden, die für alle vier betrachteten Nuklide in der Größenordnung der Literaturwerte (Medianwerte für die betreffenden Bodentypen, Gil-Garcia bzw. Vandenhove et al. 2009) liegen.

5.1 REFERENZREGIONEN IN DEUTSCHLAND UND ZUM KLIMAWANDEL

Neben der Auswahl der Referenzregionen zum Klimawandel wurden die Parameter für die einzelnen Referenzbiosphären aus der Literatur zusammengetragen. Für die Referenzbiosphären wurden BDCFs für die Radionuklide Cs-135, I-129, Np-237, Ra-226 und Se-79 berechnet. Dabei wurden zunächst die Bodentypen Sand, Lehm und Ton und eine erwachsene Bevölkerungsgruppe betrachtet.

5.2 VERIFIKATION DES BODENMODELLS

Zur Verifikation der korrekten Implementation des Mehrkomponentenmodells wurden verschiedene experimentelle Studien aus der Fachliteratur nachgerechnet (Nisbet 1995, Guthrie 2005, Vandenhove 2007). Die Berechnungen sind zum Teil noch nicht vollständig abgeschlossen und ausgewertet worden, erste Ergebnisse liefern aber eine gute bis zufriedenstellende Voraussage der Speziation und Sorption der Nuklide unter gegebenen Bedingungen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Nach der Finalisierung und Begutachtung des mathematischen Biosphärenmodells anhand der Betrachtung der BDCFs ausgewählter Referenzbiosphären, Bevölkerungsgruppen und Radionuklide sollen die restlichen BDCFs berechnet werden. Diese sollen dann in eine Datenbank übertragen werden und zusammen mit dem entwickelten Modell als Datenquelle dem BfS zur Verfügung gestellt werden.

Da das Biosphärenmodell modular aufgebaut ist, können zusätzliche Bevölkerungsgruppen und Bodentypen bei Kenntnis der entsprechenden Parameter problemlos begutachtet werden. Dadurch wird gewährleistet, dass bei einer Änderung der Rahmenbedingungen eine Anpassung des Modells möglich ist.

Nach Abschluss der Bodenmodellverifikation soll eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden, um für jedes Nuklid die Abhängigkeit der Konzentration in Lösung bzw. des Verteilungskoeffizienten von den jeweils entscheidenden Bodenparametern quantitativ darstellen zu können. Im nächsten Schritt ist zu untersuchen, ob und wie diese Parameter in Abhängigkeit vom Klima variieren.

Themenbereich 06
Notfallschutz

Subject area 06
Emergency management

Thema			
Nutzung von Geräten in nuklearmedizinischen Einrichtungen bei radiologischen Notfallsituationen mit hohen bis sehr hohen Körperaktivitäten im Rahmen des REMPAN-Netzwerkes			
Subject			
<i>Use of equipment in nuclear medicine facilities in case of radiological emergency situations with high to very high body activities within the scope of the REMPAN network</i>			
Kennzeichen 3609S60012	Beginn 01.01.2010	Ende 30.04.2011	Fördermittel EUR 118.405,-
Forschungs- / Auftragnehmer Universität Würzburg			
Projektleitung Prof. Dr. M. Laßmann	Fachbetreuung BfS Dr. U. Gerstmann / AG-SG 2.4	verantwortlich für den Text H. Weigelt, Dr. U. Gerstmann	

1. ZIELSETZUNG

In radiologischen Notfallsituationen können unter Umständen viele Personen ggf. große Mengen von radioaktivem Material inkorporieren. Für die berufliche Inkorporationsüberwachung gibt es hochempfindliche Messstellen für den Nachweis geringer Körperaktivitäten einzelner Personen. Bei großen Körperaktivitäten versagen diese Messstellen auf Grund von Totzeitproblemen. Zusätzlich würde bei katastrophenähnlichen Szenarien die Kapazität dieser Messstellen voraussichtlich nicht ausreichen, um Inkorporationen einer größeren Anzahl von Personen in einer angemessenen Zeit bestimmen zu können. Um dennoch eine realistische Abschätzung der Folgedosis, die auch unter anderem über die Notwendigkeit von Dekorporationsmaßnahmen entscheidet, auf der Basis von Messwerten zu ermöglichen, ist zu klären, ob andere etablierte Messtechniken dafür herangezogen werden können. Diesen Anforderungen wären nuklearmedizinische Diagnoseeinrichtungen gewachsen, nur sind diese Geräte für ganz andere Fragestellungen konzipiert worden.

Ziel des vorliegenden Vorhabens ist daher die beispielhafte Prüfung der verfügbaren diagnostischen Ausrüstung der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Würzburger Universitätsklinikums auf deren Eignung für die Abschätzung von Körperdosen aus Inkorporationen in radiologischen Notfallsituationen. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat eine Notfallnuklidliste erstellt, die etwa 70 Radionuklide enthält. Die Untersuchungen im Rahmen dieses Vorhabens konzentrieren sich auf folgende Radionuklide als Leitnuklide: Co-57, Co-60, Sr-90+, I-125, Cs-137, I-131, Ba-133, Eu-152, Ir-192, Ra-226, Th-232, sowie Am-241.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 CHARAKTERISIERUNG UND EIGNUNGSUNTERSUCHUNG POTENZIELL EINSETZBARER GERÄTE

- Charakterisierung von Nuklearmedizinischen Geräten, insbesondere von Gamma-Kameras, hinsichtlich ihrer messtechnischen Parameter (Energiebereich, Nachweisgrenze, Sättigungsgrenze, Einfluss von Kollimatoren, Messdauer und -aufwand, Auswerteprogramme);
- Untersuchungen zur Eignung dieser Geräte für die vom BfS vorgegebenen Radionuklide (vgl. Zielsetzung) hinsichtlich ihrer Identifizierung und Quantifizierung sowie zur Ermittlung der inneren Dosis.

2.2 AUFWANDSUNTERSUCHUNGEN

- Ermittlung des Aufwandes für die Umstellung der Geräte für Messungen in Notfallsituationen (z. B. notwendiger Aufwand für Umkalibrierungen);
- Untersuchungen zum organisatorischen und personellen Aufwand für die Durchführung von Notfallmessungen sowie zum Vorhalt der Einsatzbereitschaft der Messgeräte.

2.3 EMPFEHLUNGEN UND LEITFADEN

- Erarbeitung einer Empfehlung zur Abgrenzung zwischen einem Einsatz einer herkömmlichen Ganz- oder Teilkörpermessstelle und umfunktionierter nuklearmedizinischer Geräte;

- Erarbeitung eines Leitfadens für die Umrüstung von nuklearmedizinischen Geräten für die Zwecke von Inkorporationsmessungen bei hohen bis sehr hohen Körperaktivitäten einschließlich einer regionalen Zusammenstellung geeigneter nuklearmedizinischer Einrichtungen.

3. METHODIK

Im bislang weitestgehend abgeschlossenen ersten Arbeitsabschnitt wurden Gamma-Kameras auf Ihre Eignung zur Erfassung inkorporierter Radionuklide aus der in der Zielsetzung genannten Nuklidliste überprüft. Im Rahmen dieser Studie wurden drei Gamma-Kameras der Firma Siemens mit je zwei Detektoreinheiten zu Messungen herangezogen (ECAM Variable, ECAM Duet, Symbia TruePoint SPECT-CT). Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal zwischen den Kameras ist die Dicke der Szintillationskristalle (ECAM Variable: 3/8" (0,96 cm), Symbia TruePoint SPECT/CT: 5/8" (1,59 cm), ECAM Duet: 1" (2,54 cm)). Für die Untersuchungen der Eignung der Detektoren kamen die in vielen Einrichtungen vorhandenen Kollimatoren für drei Energiebereiche (niedrig, mittel und hoch) zum Einsatz. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die Detektorköpfe in einer relativen Position von 180° zueinander verwendet, d. h. die Detektoren standen sich gegenüber. Die radioaktiven Quellen lagen entweder punktförmig oder flächenverteilt vor. Für Punktquellen wurde stets der maximal mögliche Probenabstand zwischen beiden Detektoren gewählt (ca. 35 cm). Die Flächenquellen wurden in einem mittleren Abstand von 20 cm detektiert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 DEFINITION DER OPTIMALEN ENERGIEBEREICHE

Die Gamma-Kameras erfassen bauartbedingt Photonen (γ -Strahlung) in einem Energiebereich von etwa 50 keV bis zu etwa 700 keV. Zur Festlegung der optimalen Energiefenster wurden anhand der Kameras und der zugehörigen Steuersoftware die Spektren der in Frage kommenden Nuklide erfasst und unter Verwendung dieser Spektren die Energiefenster bzw. Gruppen dieser Fenster festgelegt, in deren Rahmen dann die weiteren Messungen erfolgten. Durch die Eingrenzung der erfassten Energiebereiche auf nuklidspezifische Peaks werden die störenden Einflüsse von Streueffekten und der Hintergrundstrahlung verringert und ggf. eine Nuklidspezifizierung ermöglicht.

4.2 ERFASSUNG MESSTECHNISCHER PARAMETER

Um die Kenngrößen der Kameras im Hinblick auf die vorgelegten Aktivitäten zu ermitteln, wurden anhand von Tc-99m (140 keV), I-131 (364 keV) sowie F-18 (511 keV) über den gesamten Erfassungsbereich der Kameras (von etwa 10^{-4} MBq bis etwa 10^3 MBq) aktivitätsbezogene Kennlinien aufgenommen. Diese Kennlinien verschaffen einen Überblick über die Nachweisgrenzen für kleine Aktivitäten, die aktivitätsbezogenen Zählcharakteristiken der Kameras und deren Linearität sowie über das Totzeitverhalten bei großen Aktivitäten. Die Messungen erfolgten an Punktquellen. Diese Quellen wurden durch Probenröhrchen realisiert, die zu etwa 100 μ l mit einer wässrigen Lösung der radioaktiven Substanzen befüllt waren. Zur Messung wurden die Proben in einer festen Position gegenüber den Detektorköpfen entweder ohne Streumedium oder innerhalb eines homogen mit Wasser gefüllten zylindrischen Acryl-Phantoms mit durchstrahlten Wasserlängen von 3,5 cm bzw. 15,5 cm arretiert. Die Kennlinien wurden sowohl unkollimiert als auch mit geeigneten und je nach Kameramodell einsetzbaren Kollimatoren aufgenommen.

4.3 BESTIMMUNG DER KALIBRIERGRÖßEN

Die Untergrundeffekte bei der Betrachtung kleiner Aktivitäten sowie die anwachsenden Totzeiten des Detektorsystems bei großen Aktivitäten begrenzten den linearen Erfassungsbereich der Gamma-Kameras. In diesem linearen Messintervall wurden für die meisten der Radionuklide aus obengenannter Liste gerätespezifische Kalibrierdaten sowie Schwächungskoeffizienten ermittelt. Einige Nuklide standen nicht zur Verfügung (darunter die in der Liste aufgeführten α -Strahler), so dass hierfür keine Kalibrierdaten erfasst werden konnten. Bei reinen Betastrahlern wie Sr-90+ bzw. Y-90 ist mit Gammakameras nur die Bremsstrahlung erfassbar, anhand derer eine Quantifizierung der Aktivität im Falle einer Inkorporation nahezu unmöglich ist. Hierfür wurden ebenfalls keine Kalibrierdaten erfasst.

5. ERGEBNISSE

- Die Auflösung der von den Kameras aufgezeichneten Energiespektren von 5% - 10% entspricht her-

kömmlichen NaI(Tl)-Detektoren, was die Identifizierung unbekannter Photopeaks zwischen 50 und 700 keV ermöglicht.

- Nuklide mit anderen Photonenenergien, d. h. unterhalb ca. 50 keV bzw. oberhalb 700 keV bzw. reine Betastrahler können nur anhand gestreuter Photonen bzw. Bremsstrahlungsphotonen nachgewiesen werden, was eine Identifizierung deutlich erschwert und eine Quantifizierung nahezu unmöglich macht.
- Die Empfindlichkeit der Gamma-Kameras ohne Kollimation ist gegenüber der Detektion der Aktivität mit Kollimator etwa um den Faktor 100 erhöht.
- Moderne Gamma-Kameras ohne Kollimator detektieren Aktivitäten von 100 Bq bis zu etwa 5 MBq, mit Kollimator von etwa 100 kBq bis zur maximal im Rahmen der Studie eingesetzten Aktivität von 0,8 GBq linear, das heißt, der verwendbare Messbereich erstreckt sich über nahezu 7 Größenordnungen.
- Die Nachweiswahrscheinlichkeit der Kameras steigt mit der Kristalldicke des verwendeten Detektors, wobei die größte Zunahme zwischen 3/8" (0,96 cm) und 5/8" (1,59 cm) gemessen wurde.
- Bei Doppelkopfkameras erwies sich als beste Geometrie, die Detektorköpfe in einer relativen Position von 180° zueinander zu verwenden, d. h. die Detektoren stehen sich gegenüber.
- Nuklide mit mehreren Gammalinien bzw. Nuklidgemische, lassen sich auf Grund der fehlenden Möglichkeit standardisiert den „cross-talk“ zu berücksichtigen, erheblich schlechter quantifizieren.
- Aus der Detektoreffizienz in Abhängigkeit von Photonenenergie und Kristalldicke lässt sich für Nuklide, deren Kalibriergrößen hier nicht erfasst wurden, die aber Photonen im Energiebereich von 50 keV bis 700 keV mit bekannter Emissionswahrscheinlichkeit emittieren, eine Abschätzung der Effizienz durchführen. Da diese Effizienzkurven weitestgehend unabhängig von herstellereigenen Parametern sind, könnten diese Werte auch für die Kameras anderer Hersteller abgeschätzt werden.
- Tabelle 1 gibt einen Überblick darüber, bei welchen der vom BfS als besonders relevant für Notfallszenarien eingestuft Nuklide ein Inkorporationsnachweis anhand von Gamma-Kameras möglich ist.

Tabelle 1:

Vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) als wichtig aufgeführte Nuklide, die Möglichkeit, mit diesen in Würzburg umzugehen und Bemerkungen zu diesen Nukliden im Bezug auf die Möglichkeit, diese qualitativ und quantitativ mit medizinischen Gamma-Kameras zu erfassen. (FG: Freigrenze)

Nuklid	Bemerkungen
Co-57	Punktquelle, Daten erfasst
Co-60	Flächenquelle, Daten aus Rückstreupeak erfasst, Identifizierung aus Nuklidgemisch mit Gamma-Kameras nicht möglich
Sr-90+ (Y-90)	Y-90, offen, als Ersatz vorhanden, reiner β -Strahler; mit Gammakameras nur die Bremsstrahlung erfassbar. Eine Quantifizierung ist im Falle einer Inkorporation schwierig, die Identifikation des Nuklids kaum möglich.
I-125	offen, Photonenenergie zu niedrig (27 keV, 31 keV), Nachweis mit Gammakameras nicht möglich
Cs-137	Flächenquelle, Punktquelle, Daten erfasst
I-131	offene Punktquelle, Daten erfasst
Ba-133	Flächenquelle, Punktquelle, Daten erfasst
Eu-152	Flächenquelle, Punktquelle, Daten erfasst
Ir-192	Photopeak bei 317 keV (Emissionswahrscheinlichkeit: 83%), Empfindlichkeit kann abgeschätzt werden
Ra-226	α -Strahler mit γ -Linie bei 186 keV mit geringer Emissionswahrscheinlichkeit (3,2%), Abschätzung u.U. möglich; Nachweisgrenze hoch
Th-232	α -Strahler ohne Photonen im Erfassungsbereich von Gamma-Kameras, Nachweis nicht möglich
Am-241	α -Strahler mit γ -Linie bei 60 keV, (Emissionswahrscheinlichkeit: 36%), Empfindlichkeit kann abgeschätzt werden

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Zum Abschluss des Teilbereichs Charakterisierung und Eignungsuntersuchung potenziell einsetzbarer Geräte werden noch ein in Würzburg vorhandener Teilkörperzähler sowie in der Therapiestation über den Patientenbetten fest montierte Strahlungsdetektoren auf deren Eignung zur Bestimmung von Körperaktivitäten der Nuklide aus Tabelle 1 überprüft.

Im weiteren Verlauf werden die „Aufwandsuntersuchungen zu Umrüstungen“ und die „Erstellung einer Empfehlung und eines Leitfadens zum Einsatz nuklearmedizinischer Einrichtungen in größeren Strahlenunfallsituationen“, wie in der Einzelzielsetzung beschrieben, durchgeführt.

Themenbereich 07

Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Subject area 07

Projects of general importance to radiation protection

Thema			
Experimentelle Bestimmung von Resuspensionsraten partikelgebundener radioaktiver Stoffe von relevanten kontaminierten Oberflächen bei radiologischen Notfällen zur Beurteilung einer Exposition von Einsatzpersonal und betroffenen Personen durch Resuspension radioaktiver Partikel			
Subject			
<i>Experimental determination of resuspension rates of radioactive materials bound in particles from relevant contaminated surfaces during radiological emergencies in order to evaluate the exposition of first responders and affected people through the resuspension of radioactive particles</i>			
Kennzeichen 3609S70005	Beginn 01.09.2009	Ende 31.03.2011	Fördermittel EUR 220.524,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung - Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin (ITEM) Hannover			
Projektleitung Dr. W. Koch	Fachbetreuung BfS Dr. R. Maier / AG-NGA	verantwortlich für den Text Dr. R. Maier	

1. ZIELSETZUNG

Für radiologische Notfälle mit Freisetzung radioaktiver Stoffe fehlen belastbare experimentelle Daten als Beurteilungsgrundlage für die Inhalationsbelastung betroffener Personen und des Einsatzpersonals durch Einatmen radioaktiver Stoffe nach Resuspension. Dieses Problem ergibt sich insbesondere bei Notfallstationen im Hinblick auf die Beurteilung, ob die mit dem Tragen von Atemschutzmasken verbundene Arbeiterschwerer für das Einsatzpersonal und die durch eine solche Maßnahme verursachte psychologische Verunsicherung der im betroffenen Gebiet betreuten Personen angemessen sind. Derzeit besteht generell ein erhebliches Kenntnisdefizit hinsichtlich des Übergangs partikelförmiger radioaktiver Stoffe von kontaminierten Oberflächen in den luftgetragenen Zustand (Resuspensionsrate), insbesondere von Kleidung und anderen relevanten Oberflächen in der unmittelbaren Folgezeit nach einem Unfall oder terroristischen Ereignis mit erheblicher Freisetzung radioaktiver Stoffe.

Bestehende Defizite hinsichtlich der Beurteilungsgrundlage für die Inhalationsbelastung des Einsatzpersonals und der betroffenen Bevölkerung durch Resuspensionen abgelagerter radioaktiver Stoffe in der Frühphase von radiologischen Notfällen erfordern eine experimentell gestützte Absicherung. In Beratungen des Notfallsausschusses der SSK (Strahlenschutzkommission) ist speziell eine einheitliche Vorgehensweise beim Betrieb von Notfallstationen, insbesondere im Hinblick auf die persönliche Schutzausrüstung des Einsatzpersonals, als besonderer Problempunkt identifiziert worden.

Ziel des Vorhabens ist die Ermittlung experimentell abgesicherter Resuspensionsraten und deren Zeitabhängigkeit bei der Beaufschlagung repräsentativer kontaminierter Oberflächen (insbesondere Kleidung) mit realitätsnahen Bedingungen von Luftanströmung und Vibration. Die Daten sollen eine belastbare Abschätzung der Strahlenexposition von Personen durch Inhalation radioaktiver Stoffe infolge Resuspension nach trockener oder nasser Deposition ermöglichen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben soll folgende wissenschaftliche Ergebnisse erbringen:

2.1 ENTWICKLUNG VON TESTAEROSOLEN

Es sollen (auch in geringer Konzentration nachzuweisende) Testaerosole entwickelt werden, die den zu erwartenden radioaktiven Falloutpartikeln bei unfallbedingten Freisetzungen und terroristischen Ereignissen in ihren physiko-chemischen Eigenschaften nahe kommen.

2.2 WEITERENTWICKLUNG VON METHODEN ZUR REALITÄTSNAHEN BELEGUNG VON OBERFLÄCHEN MIT TESTAEROSOLEN

Die bereits bestehenden Methoden für die definierte und realitätsnahe Belegung von Oberflächen mit Testpartikeln und zurzeit- und partikelgrößen aufgelösten Messung der Freisetzungsraten werden weiterentwickelt. Dies umfasst sowohl ein kleinskaliges Screeningverfahren zur Untersuchung unterschiedlicher Oberflächen als auch das Reinraumverfahren, bei dem typische Belastungssituationen ggf. unter Einbeziehung von Probanden nachgestellt werden können.

2.3 ERSTELLUNG EINES DATENSATZES ZUR ABLEITUNG VON SCHUTZMAßNAHMEN BEI RADIOLOGISCHEN NOTFALLSITUATIONEN

Es werden experimentell Daten erhoben, auf deren Grundlage Schlussfolgerungen für Schutzmaßnahmen bei radiologischen Notfallsituationen abgeleitet werden können. Dies umfasst sowohl die Inhalation aerosolgebundener Radioaktivität bei der Betreuung von kontaminierten Personen in Notfallstationen als auch die Inhalation resuspendierter Radioaktivität im Freien, beides jeweils unmittelbar nach einem radiologischen Ereignis.

3. METHODIK

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

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ENTWICKLUNG VON BAU VON VERSUCHSANORDNUNGEN

Im ersten Schritt wurde eine langsam (laminar) durchströmte bis turbulent durchmischte Kontaminationskammer zur Aufnahme von mehreren kleinskaligen Probeflächen entwickelt, gebaut, in Betrieb genommen und validiert. Diese Kammer wurde mit Vorrichtungen zur Zugabe von trocken als auch nassen Aerosolen ausgestattet.

Im zweiten Schritt erfolgte der Bau eines Strömungskanals zur reproduzierbaren Erzeugung definierter Grenzschichtströmungen oberhalb der Testoberfläche zur repräsentativen Erfassung der resuspendierten Partikel durch einen optischen Partikelzähler.

Ferner wurde eine Rüttel- / Klopfvorrichtung zur Applikation mechanischer Kräfte auf die Probematerialien konzipiert und hergestellt. Es wurden unterschiedliche Krafteinwirkungen untersucht.

4.2 DURCHFÜHRUNG VON VERSUCHEN

Im ersten Schritt wurden Vorversuche zur Festlegung der Versuchsrandbedingungen durchgeführt. Anschließend wurden die Hauptversuche mit unterschiedlichen Parametern wie z. B. unterschiedliche Art und Höhe des Energieeintrages, unterschiedliche Oberflächenmaterialien und Oberflächenstrukturen und unterschiedliche Aerosole durchgeführt und ausgewertet.

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

5. ERGEBNISSE

In den ersten Monaten wurden die ersten Planungen der benötigten Versuchsaufbauten und Versuchsdurchführungen erarbeitet. Anschließend wurden sowohl die Sedimentationskammer als auch der Windkanal gebaut und getestet. Ferner wurden die erforderlichen Testaerosole ausgewählt und in der jeweiligen Partikelgrößenverteilung beschafft.

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

zungsraten festgestellt werden. Die Oberfläche des Trägermaterials spielt eine für Resuspension eine nachgeordnete Rolle.

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

Die Resuspensionsexperimente mit Probanden im Reinraum bestätigten die Untersuchungsergebnisse aus dem Windkanal.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeiten werden fortgesetzt. Im ersten Quartal sollen die Resuspensionsversuche im Windkanal und im Reinraum komplettiert und die Ergebnisse in einem Abschlussbericht dokumentiert werden. Die Ergebnisse sollen in einer Abschlusspräsentation im 2. Quartal vorgestellt werden.

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

1. ZIELSETZUNG

Das Projekt konzentriert sich auf die Methodenentwicklung und die Erstellung eines Computerprogramms für Krebs nach Gamma- und Röntgenstrahlenexposition für diejenigen Organe, in denen Krebs besonders häufig auftritt oder die besonders strahlenempfindlich sind. Dieses sind der Dickdarm, die Lunge, der Magen und die weibliche Brust. Die Abschätzungen der Krebsrisiken beruhen auf den Inzidenzdaten für die Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki. Da verschiedene Modelle basierend auf den gleichen Daten unterschiedliche Aussagen machen können, wird die Methode der „Multi-model inference“ benutzt, um modelunabhängige Risikofaktoren abzuleiten. Für Brustkrebs sollen auch Ergebnisse anderer Studien als die der Atombombenüberlebenden berücksichtigt werden. Bei der Übertragung der Risikofaktoren von den Atombombenüberlebenden auf einen Krebsfall in Deutschland werden aktuelle Daten zum Krebsrisiko in Deutschland und Unsicherheiten, die sich z. B. durch den geringen Kenntnisstand zum Krebsrisiko nach Expositionen mit niedrigen Dosisleistungen ergeben, berücksichtigt. Das Programm ProZES (Programm zur Berechnung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit einer Erkrankung und einer Strahlenexposition) berechnet eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für den Zusammenhang der Erkrankung und einer Strahlenexposition.

2. EINZELZIELSETZUNG

- Analyse existierender Ansätze zur Berechnung einer Zusammenhangswahrscheinlichkeit, insbesondere des U.S. „NIOSH/NCI RadioEpidemiology Program (IREP)“;
- Review und Analyse der stochastischen Korrektur-Faktoren für die Funktion des zusätzlichen relativen Risikos;
- Bestimmung der Parameter der Risikomodelle mit der Methode der „Multi-model inference“;
- Berücksichtigung der Übertragung des Strahlenrisikos von der LSS (Life Span Study)-Kohorte auf die deutsche Bevölkerung;
- Stochastische Berücksichtigung von Unsicherheiten aus Korrekturen für niedrige Dosisraten (DREF);
- Entwicklung und Implementierung von Risikomodellen für Darmkrebs, Magenkrebs, Brustkrebs und Lungenkrebs;
- Entwicklung und Validierung von Algorithmen zur Simulation der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Krebsentstehung - Prototyp in der mathematischen Entwicklungsumgebung Matlab;
- Vergleich der Zusammenhangswahrscheinlichkeit von ProZES und dem IREP Programm;
- Entwicklung eines Prototyps eines End-Benutzerprogramms (Visual Basic und Intel Fortran MKL).

3. METHODIK

Die Zusammenhangswahrscheinlichkeit (Z) stellt die Wahrscheinlichkeit dar, mit der ein diagnostizierter Krebs durch eine vorhergehende Strahlenexposition verursacht wurde, und kann durch das zusätzliche relative Risiko (ERR) folgendermaßen ausgedrückt werden:

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

Funktionale Abhängigkeiten des ERR basieren auf empirischen Modellen von verschiedenen epidemiologischen Studien, z. B. von der Kohorte der Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki oder der gepoolten Studie von 8 Kohorten bei Brustkrebs. Typischerweise hängt das ERR z. B. von Geschlecht, erreichtem Alter oder Alter bei Exposition ab. Zusätzlich zu den besten Fit-Parametern für diese Abhängigkeiten wird auch die Kovarianz-Matrix berücksichtigt, so dass stochastische Verteilungen mit angemessenen Unsicherheitsintervallen bestimmt werden können.

Von der Vielzahl der möglichen Modelle werden nur diejenigen berücksichtigt, die die Daten am besten beschreiben unter dem Akaike Informations-Kriterium (AIC) oder unter dem Likelihood-Ratio Test. Das resultierende ERR wird bestimmt durch die Methode der „Multi-model inference“, d. h. die Verteilung der ERR Werte wird erzeugt durch eine Verteilung spezifisch für die ausgewählten Modelle, die dann jeweils gewichtet werden mit dem globalen Gewicht der einzelnen Modelle, das durch den AIC-Wert bestimmt wird.

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

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

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

Es wurden die empirische Modelle für Darm-, Magen- und Brustkrebs ausgewählt, die als Grundlage der weiteren Arbeiten dienen. Die Modelle für Darm- und Magenkrebs stammen von der LSS-Kohorte, während für Brustkrebs Modelle aus der gepoolten Studie von 8 Kohorten abgeleitet wurden.

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

Unsicherheiten in der Dosisverteilung der LSS-Kohorte wurden evaluiert. Da einige Unsicherheitsfaktoren beim Übergang von DS86 zu DS02 weggefallen sind, bleiben bei den aktuellen Lösungen für ProZES nur noch die Unsicherheiten in Bezug auf das Neutron-RBE und der Gamma-Dosen für die LSS-Personen.

Es wurde eine Analyse durchgeführt, um eine angemessene Art zu bestimmen, das ERR auf die deutsche Bevölkerung zu übertragen. Dabei wurde gezeigt, dass die in IREP implementierte Technik zeitabhängige Unterschiede in der Hintergrundwahrscheinlichkeit für die Inzidenz in der LSS-Kohorte ignoriert; dies führt zu einer potenziell fehlerbehafteten Übertragung des ERR auf die Zielbevölkerung. Die bei ProZES realisierte Methode gibt weder einem additiven noch multiplikativen Übertrag den Vorzug, da kein allgemeiner Konsens über den bevorzugten Mechanismus herrscht. Beiden Methoden wird deshalb ein gleiches Gewicht zugewiesen und die resultierende Verteilung des ERR wird aus einem zufälligen Sampling erzeugt, das beide Wege der Risikoübertragung gleichermaßen berücksichtigt.

Eine Analyse der Mortalitätsdaten für die LSS-Kohorte hat gezeigt, dass eine in IREP benutzte Funktion für die Beschreibung der Krebs-Latenzzeiten revidiert werden muss. Zurzeit wird diese Funktion für ProZES neu bestimmt.

Zur Bestimmung von Korrekturfaktoren für Expositionen bei niedrigen Dosisraten wurde in ProZES ein neuer Zugang vorgeschlagen, begründet und implementiert. In diesem neuen Zugang wird angenommen, dass das geometrische Mittel des Korrekturfaktors gleich 1 ist, während die geometrische Standardabweichung von der Dosisrate abhängt.

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

Die Entwicklung der Algorithmen in ProZES und die Tests wurden in der Computersprache Matlab durchgeführt; für die Endnutzerversion von ProZES wurde eine spezielle statistische Bibliothek angefertigt mit optimierten Routinen von der Intel MKL (Math Kernel Library) und getestet mit der als Windows Konsole .NET Anwendung kompilierten Version von ProZES. Eine solche doppelte Implementierung der ProZES Algorithmen

men dient auch der Qualitätssicherung (Resultate der zwei unabhängigen Programme und Bibliotheken müssen innerhalb numerischer und statistischer Fehler übereinstimmen). Es ist geplant, ProZES als Windows .NET Anwendung zu realisieren (unter Benutzung des Windows Presentation Framework 4, das zugleich eine hohe Performance und einfache Portabilität zu einer Web-basierten Anwendung vereint).

4.2 TREFFEN MIT DER SSK-BEGLEITGRUPPE UND WEITERE ARBEITSGESPRÄCHE MIT EXTERNEN EXPERTEN

Für die externe Begleitung dieses Vorhabens wurde eine SSK (Strahlenschutzkommission)-Arbeitsgruppe eingerichtet. Diese traf sich im Februar und im Oktober 2010.

Außerdem fanden Arbeitstreffen mit Mitgliedern von UNSCEAR statt, um sowohl die unterschiedlichen Herangehensweisen von IREP und ProZES als auch aufgetretene Fragen zu diskutieren. Diese Treffen fanden im Mai, September und Dezember 2010 statt.

5. ERGEBNISSE

Ein Review und kritische Analyse der existierenden Ansätze zur Berechnung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit wurden durchgeführt. Krebsrisikomodelle für Darm, Magen und weibliche Brust wurden neu evaluiert und mit der Methode der „Multi-model inference“ bestimmt. Ein ausführlicher Vergleich mit existierenden Modellen (BEIR¹), RERF²), UNSCEAR³), IREP) wurde durchgeführt und entsprechende Techniken wurden ausgewählt oder entwickelt. Ein Simulationsalgorithmus wurde implementiert und getestet sowohl in der mathematischen Entwicklungsumgebung Matlab wie in der kompilierten .NET Anwendung.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Zu erledigende Aufgaben:

- Ableitung von Funktionen zur Beschreibung des ERR für Lungenkrebs;
- Abschätzung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die Unsicherheiten im LSS-Dosimetriesystem berücksichtigen;
- Entwicklung von plausiblen Funktionen zur Beschreibung der Latenzzeit von Krebs müssen mit den UNSCEAR Experten diskutiert und implementiert werden;
- Berücksichtigung von Strahlengewichtungsfaktoren für Neutronen;
- Entwicklung einer ersten Version des Programms ProZES als Windows WPF (Windows Presentation Foundation)- Anwendung mit Benutzeroberfläche;
- Tests und Qualitätssicherung;
- Verbesserung der Performance von ProZES durch Optimierung. Mögliche Parallelisierung des Codes um weitere Performancesteigerungen zu erzielen;
- Sammeln von Feedback von Mitgliedern der SSK-Arbeitsgruppe und Einbau der von den Endbenutzern vorgeschlagenen Modifikationen.

¹) Biological Effects of Ionising Radiation

²) Radiation Effects Research Foundation

³) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

Thema Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschusses Materialprüfung (NMP)			
Subject <i>Revision of technical radiation protection standards in the range of the Materials Testing Standards Committee (NMP)</i>			
Kennzeichen 3608S07005	Beginn 09.06.2008	Ende 30.06.2011	Fördermittel EUR 215.626,-
Forschungs- / Auftragnehmer DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin			
Projektleitung H. Seibicke	Fachbetreuung BfS K.-H. Motzkus / AG-SG 2.5	verantwortlich für den Text K.-H. Motzkus, M. Treige-Wegener	

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:

- Aufbewahrung radioaktiver Stoffe - Anforderungen an Aufbewahrungseinrichtungen und deren Aufstellungsräume zum Strahlen-, Brand- und Diebstahlschutz (DIN (Deutsches Institut für Normung) 25422),
- Probeentnahme bei der Radioaktivitätsüberwachung der Luft (Normen der Reihe DIN 25423),
- Radionuklidlaboratorien (Normen der Reihe DIN 25425),
- Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Reststoffen und kern-technischen Anlagenteilen (Normen der Reihe DIN 25457),
- Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser (DIN 25465).

Dies beinhaltet auch die Identifizierung weiterer wichtiger Normenthemen und -vorhaben für die Genehmigungspraxis. Außerdem soll die frühzeitige und direkte Mitwirkung von deutschen Experten bei der internationalen Normung im Bereich „Strahlenschutz“ sichergestellt werden.

3. METHODIK

Die jeweiligen Norm-Entwürfe werden in Arbeitsausschüssen des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) beim DIN erstellt und mit einer Einspruchsfrist von 4 Monaten veröffentlicht. Die in dieser Zeit eingegangenen Stellungnahmen werden in den Arbeitsausschüssen mit den Einsprechern diskutiert und im Konsensverfahren überarbeitete Manuskripte erstellt. Diese werden dann als Norm veröffentlicht.

Um die Mitarbeit von deutschen Experten in internationalen Normungsgremien (IEC (International Electrotechnical Commission), ISO (International Organization for Standards)) und den entsprechenden Arbeitsausschüssen sicherzustellen, werden vom DIN e. V. (in Rücksprache mit dem Fachbegleiter) die dazu erforderlichen Spiegelgremien eingerichtet.

4. DURCHFÜHRUNG

Auf Grund der verschiedenen Themenkreise der zu überarbeitenden Normen sind unterschiedliche Vorgehensweisen erforderlich. Einige Normen können in bereits bestehenden Ausschüssen bearbeitet werden, für andere mussten ruhende Ausschüsse reaktiviert oder neue Ausschüsse gegründet werden.

So werden die Normen der Reihe DIN 25457 im bereits bestehenden Ausschuss NA 062-07-46 AA „Reststofffragen“ und die Normen der Reihe DIN 25423 im DKE / GUK 967.2 „Aktivitätsmessgeräte für den Strahlenschutz“ bearbeitet.

Für die Überarbeitung der anderen genannten Normen wurden drei neue Arbeitsausschüsse eingerichtet:

- NA 06-07-61 AA Terminologie und Grundlagen,
- NA 06-07-62 AA Strahlenschutzeinrichtungen und
- NA 06-07-63 AA Radionuklidlaboratorien.

Die vom DIN organisierten Gründungssitzungen haben inzwischen stattgefunden. Auf ihnen wurde jeweils ein Obmann mit Stellvertreter gewählt sowie das jeweilige Arbeitsprogramm (Normenprojekte, Festlegung der weiteren Vorgehensweise usw.) aufgestellt. Die Experten in den Ausschüssen wurden mit dem Dokumentenverwaltungssystem des DIN „Livelink“ vertraut gemacht und bekamen darüber hinaus Zugriff auf die für die Überarbeitung notwendigen Dokumente.

5. ERGEBNISSE

Folgender Stand wurde dabei im Einzelnen zu den 5 Projektfeldern bis jetzt erreicht:

- **DIN 25401** Grundlagennormung (Terminologie)
Die Überarbeitung der Normen der Reihe DIN 25401 in Abstimmung mit ISO 921 ist mit Veröffentlichung der Teile als Norm-Entwurf soweit abgeschlossen. Die Entwürfe (7 Teile) wurden Ende Dezember 2010 im DIN eingereicht und werden mit Ausgabedatum 2011-02 erscheinen. Die Einspruchsfrist endet Juni 2011. Mit Einsprüchen ist nicht zu rechnen, so dass ohne weitere Verzögerung der Druck der Manuskripte als Norm angestoßen werden kann.
- **DIN 25422** wird überarbeitet. Die Überarbeitung gestaltet sich weiterhin schwierig, da verschiedene Aussagen mit dem Normenausschuss Bauwesen abgestimmt werden mussten. Dies ist inzwischen erfolgreich abgeschlossen. Da es inzwischen im Bereich der Diebstahlsicherung verschiedene Änderungen gibt, müssen diese im Rahmen der Erarbeitung der Norm ebenfalls noch berücksichtigt werden.
- **DIN 25423** wird durch Übernahme der ISO 2889 als DIN ISO 2889 überarbeitet. Ein Entwurf dazu wurde bereits veröffentlicht.
- **DIN 25425** wird komplett überarbeitet.
Der Teil 3 konnte trotz der derzeitigen Entwicklung im Bereich der Kerntechnik verabschiedet werden. Teil 2 und seine Beiblätter wurden komplett überarbeitet und durch den neuen Teil 4 und dessen Beiblätter ersetzt. Diese werden mit Ausgabe März 2011 erscheinen. Teil 5 wurde zum Druck eingereicht und wird mit Ausgabe April 2011 erscheinen.
- **DIN 25457** wird überarbeitet. Der erste Entwurf zu Teil 1 musste auf Grund der Veröffentlichung von DIN ISO 11929:2011-01 komplett überarbeitet werden, da grundlegende Änderungen in der statistischen Betrachtung erforderlich wurden. Das überarbeitete Manuskript hat 115 Seiten um den Änderungen Rechnung zu tragen. Es wurde nach langer Diskussion zum Druck als 2. Norm-Entwurf freigegeben und wird mit Ausgabe Januar 2011 erscheinen.
- **DIN 25465** wurde Anfang Dezember 2009 zurückgezogen (s. Programmreport 2009).

Des Weiteren wurde die Spiegelung von ISO / TC 85 / SC 2 und des Dokumentenmanagements über Livelink mit DKE (Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik, einem Organ des DIN und VDE), NAR (Normenausschuss Radiologie) und NMP weitergeführt. Die Mitgliedschaft bei ISO / TC 85 wurde vom Status „Beobachter“ in „Teilnehmer“ bei ISO / TC 85 überführt und die entsprechenden Spiegelungsarbeiten übernommen. Die in den Ausschüssen und Arbeitsgruppen vergebenen Aufgaben wurden kontrolliert und es erfolgte eine Beteiligung am KTA (Kerntechnischer Ausschuss) Unterausschuss Strahlenschutz.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Eine Abstimmung zur DIN 25422 zu Fragen der Diebstahlsicherung erfolgt Mitte und Ende April 2011, so dass das Manuskript im Umlaufverfahren im Arbeitsausschuss verabschiedet werden kann. Die endgültige Verabschiedung zur Norm wird dann zum Jahresende im schriftlichen Verfahren stattfinden müssen.

Die endgültige Fertigstellung der DIN ISO 2889 als Ersatz für die DIN 25423 ist nun für Mitte 2011 geplant, da die Erarbeitung der nationalen Zusätze noch größeren Abstimmungsbedarf ergeben hat.

Die Arbeiten an dem Entwurf zu DIN 25425, Teil 1 wurden auf Grund eines inhaltlich gravierenden, aber verspätet eingereichten Einspruches stark aufgehalten. Der Entwurf kann deshalb erst Ende des 2. Quartals veröffentlicht werden. Die Norm DIN 25425 Teil 3 wird mit Ausgabe Juni 2011 erscheinen.

Die Einspruchsfrist zur DIN 25457, Teil 1 endet am 30. April 2011. Auf Grund der intensiven Arbeiten an der Norm ist nur mit wenigen Einsprüchen zu rechnen. Somit kann auf der Juni-Sitzung das Manuskript zur Norm ohne weitere Verzögerung verabschiedet und zum Druck eingereicht werden.

Da die Überarbeitung von Teil 1 besonders arbeitsintensiv war, mussten die Teile 4 und 6 zunächst zurückgestellt werden. Dadurch und durch den Ausfall mehrerer AG-Sitzungen (s. unten) haben sich die Arbeiten verzögert. Teil 4 wird erst auf der April-Sitzung fertig gestellt werden können, Teil 6 auf der Juni-Sitzung.

Bei der Überarbeitung der oben genannten Normen wurden weitere Normen identifiziert, die überprüft werden mussten, da in den oben genannten Projekten auf sie verwiesen wird. Um die Überprüfung der Normen durchführen zu können, wurden Anfang 2010 die Reaktivierung weiterer Ausschüsse durchgeführt. Die Überprüfung dieser Normen auf ihre Aktualität entsprechend dem Stand der Technik und Anwendbarkeit, hat dazu beigetragen, dass es bei einigen Projekten zu zeitlichen Verzögerungen kam.

Die politische Entscheidung, die 2010 zu einer Laufzeitverlängerung der KKW führte, hatte unmittelbaren Einfluss auf die Verfügbarkeit der in den Ausschüssen mitarbeitenden Fachleute. Je nach beruflichem Aufgabengebiet waren diese durch neue kurzfristig zu bearbeitende Themen (z. B. Änderungsmanagement) zusätzlich gebunden. Dies hatte zur Folge, dass die in den Gremien tätigen Mitarbeiter zusätzliche fachliche Themen kurzfristig zu bearbeiten haben und so an den Sitzungen der Gremien nicht wie geplant teilnehmen konnten bzw. können. Da u. a. Sitzungen auch deswegen abgesagt werden mussten, hat dies Auswirkungen auf die geplante Normungsarbeit insbesondere auf die Erreichung der Ziele innerhalb des festgelegten Zeitraumes des Vorhabens. Nach derzeitigem Kenntnisstand werden auf Grund der oben angeführten Ereignisse und deren Auswirkungen nicht alle Projekte fristgerecht mit Veröffentlichung der Norm abgeschlossen werden. Es werden aber alle Projekte zum Ende der Frist auf einem Stand sein (mindestens Norm-Entwurf und Einspruchsverhandlung), der es erlaubt die Projekte noch innerhalb von 2011 im schriftlichen Verfahren abzuschließen.

Thema			
Systematische Untersuchung der Exposition von Flora und Fauna bei Einhaltung der Grenzwerte der StrlSchV für den Menschen			
Subject			
<i>Systematic investigation of the exposure to non-human species under compliance with the dose limits for reference persons according to the German Radiation Protection Ordinance</i>			
Kennzeichen 3609S70006	Beginn 01.02.2010	Ende 28.02.2011	Fördermittel EUR 99.886,-
Forschungs- / Auftragnehmer Öko-Institut e.V., Büro Darmstadt			
Projektleitung C. Küppers	Fachbetreuung BfS C. Willrodt / SW 1.6	verantwortlich für den Text C. Küppers	

1. ZIELSETZUNG

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) empfiehlt, die Strahlenexposition von Flora und Fauna infolge der Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Umwelt abzuschätzen und mit Expositionen zu vergleichen, unterhalb derer eine schädliche Wirkung bei Tieren und Pflanzen nicht zu erwarten ist. Grenzwerte zum Schutz der belebten Umwelt werden von der ICRP nicht genannt, aber Referenzorganismen angegeben, die den Betrachtungen zugrunde gelegt werden sollen.

Die Strahlenschutzverordnung legt Grenzwerte für die Dosis von Einzelpersonen der Bevölkerung durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser fest. Der Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte erfolgt für Referenzpersonen unter Anwendung einer Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) zu § 47 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV), die teils sehr konservative Annahmen enthält. Ziel des Vorhabens ist es, zu überprüfen, ob bei der Anwendung der AVV zum Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte für Einzelpersonen der Bevölkerung auch die belebte Umwelt bereits angemessen geschützt ist.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Gesamtzielsetzung gliedert sich in vier Einzelzielsetzungen.

2.1 BESTANDSAUFNAHME

Das erste Einzelziel besteht darin, vorliegende Ansätze zur Ermittlung der Dosis von Referenzorganismen im Hinblick auf bestehende Lücken zu überprüfen. Identifizierte Lücken sollen, soweit möglich, geschlossen werden.

2.2 BESTIMMUNG NORMIERTER DOSISKONVERSIONSKOEFFIZIENTEN FÜR REFERENZORGANISMEN

Das zweite Einzelziel ist die Bestimmung von Dosiskonversionskoeffizienten (DCC) für die Referenzorganismen. Diese beziehen sich auf eine längerfristig in der Umwelt (Boden, Wasser und Luft) vorhandene Konzentration eines Radionuklids, einschließlich gegebenenfalls entstehender Tochternuklide.

2.3 BESTIMMUNG MAXIMAL MÖGLICHER KONTAMINATION VON UMWELTMEDIEN BEI EINHALTUNG DER DOSISGRENZWERTE FÜR DEN MENSCHEN

Das dritte Einzelziel ist die Bestimmung der maximal möglichen Kontamination von Boden, Wasser und Luft durch Ableitungen radioaktiver Stoffe, wenn die Dosisgrenzwerte für die Referenzpersonen gerade eingehalten sind.

2.4 BESTIMMUNG DER MAXIMAL MÖGLICHEN DOSIS FÜR DIE REFERENZORGANISMEN BEI EINHALTUNG DER DOSISGRENZWERTE FÜR DEN MENSCHEN UND DEREN BEWERTUNG

Das vierte Einzelziel ist die Bestimmung der maximal möglichen Dosis für die Referenzorganismen, die sich aus den DCC in Verbindung mit der Kontamination von Boden, Luft und Wasser ergibt. Diese maximal möglichen Dosen sind dann dahingehend zu bewerten, ob ein angemessener Schutz besteht.

3. METHODIK

3.1 LITERATURERECHERCHE

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurde die internationale Literatur ausgewertet, die sich mit der Strahlenexposition von Flora und Fauna befasst. Die verschiedenen existierenden Ansätze wurden vergleichend gegenüber gestellt.

3.2 BERECHNUNG VON DCC MIT ERWEITERTEN ANSÄTZEN ZUR SCHLIEßUNG BISLANG BESTEHENDER LÜCKEN

Es werden DCC abgeleitet, die die externe Exposition einschließlich der Submersion, und die interne Exposition (soweit für die einzelnen Elemente international Datensätze zur Verfügung stehen) umfassen. Für die untersuchten terrestrischen Säugetiere wurde ein Modell entwickelt, mit dem auch die Dosis durch Inhalation abgeschätzt werden konnte.

Es werden DCC für alle 750 Radionuklide bestimmt, die in Anlage VII der Strahlenschutzverordnung aufgeführt sind.

3.3 BERECHNUNG DER MAXIMAL MÖGLICHEN KONTAMINATION VON UMWELTMEDIEN NACH AVV ZU § 47 STRLSCHV

Für alle 750 Radionuklide der Anlage VII der Strahlenschutzverordnung wird die maximal mögliche Kontamination von Boden, Luft und Wasser bestimmt, wenn die Dosisgrenzwerte für die höchstexponierte Referenzperson und das relativ zum Grenzwert höchstexponierte Organ eingehalten sind. Dazu werden modellhaft Emissionen mit der Fortluft untersucht und bei der Kontamination von Wasser unmittelbar die maximal zulässige bestimmt. Die Modelle und Parametersätze der AVV zu § 47 StrlSchV müssen zum Teil sinngemäß erweitert werden, um auf alle Radionuklide sowie auf marine Gewässer anwendbar zu sein.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Bestandsaufnahme wurde als Zwischenbericht im April 2010 vorgelegt.

Mit den Berechnungen der DCC und der maximalen Kontamination von Boden, Luft und Wasser wurde in 2010 begonnen. Die Datensätze liegen aber noch nicht vollständig für alle Referenzorganismen, Expositionspfade und Radionuklide vor.

5. ERGEBNISSE

Auf der Basis der Strahlungsarten und Strahlungsenergien wurden für die Radionuklide der Anlage VII StrlSchV DCC zur Berechnung der externen Dosis durch Submersion abgeleitet. Diese beziehen sich auf die Aktivitätskonzentration im den Referenzorganismus umgebenden Medium.

Durch Übertragung aus den Modellen zur Ermittlung der Inhalationsdosis des Menschen konnten DCC für Inhalation für die terrestrischen Referenzorganismen Ratte und Hirsch abgeleitet werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Datensätze für DCC, maximal mögliche Kontamination von Luft, Wasser und Boden werden vervollständigt. Die maximal mögliche Dosis für die Referenzorganismen wird berechnet. Als Referenzdosis, bei deren Unterschreitung von keinen erheblichen Auswirkungen ausgegangen wird, wird auftragsgemäß eine Dosisrate von 10 Mikrosievert pro Stunde (87,6 Millisievert im Jahr) zugrunde gelegt.

Für den Fall von Überschreitungen der Referenzdosis, ist dies für die Referenzorganismen und die entsprechenden Radionuklide zu bewerten.

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Subject area 08
Non-ionising radiation

Thema			
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf menschliche Fibroblasten (Gentoxizität)			
Subject			
<i>Influence of high frequency electromagnetic fields of mobile phone telecommunication on human fibroblasts (genotoxicity)</i>			
Kennzeichen 3607S04504	Beginn 01.09.2007	Ende 28.02.2010	Fördermittel EUR 566.072,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Biologie, Institut für Zoologie			
Projektleitung Prof. Dr. P.G. Layer	Fachbetreuung BfS Dr. M. Asmuss / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text Prof. Dr. P.G. Layer	

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Projekts ist es, mögliche DNA (Desoxyribonukleinsäure)- oder Chromosomen-schädigende Wirkungen der für Mobilfunksysteme genutzten hochfrequenten elektromagnetischen Felder im Rahmen einer verblindeten Studie in vitro zu untersuchen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Fibroblastenkulturen in niedriger Passage von älteren und jüngeren Spendern werden mit gepulsten GSM(Global system mobile communication) 1.800 Mobilfunksignalen befeldet und mögliche Effekte in den Zielzellen untersucht.

2.1 PROBANDEN

Es werden 10 junge Erwachsene von 18-19 Jahren und 10 ältere im Alter von 50-60 Jahren (Nichtraucher) als Spender rekrutiert.

2.2 BEFELDUNG

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

2.3 UNTERSUCHTE ENDPUNKTE

Untersucht werden DNA-Strangbrüche mit dem alkalischen Comet-Assay, das Auftreten von Mikrokernen oder numerischen Chromosomenaberrationen, oxidative DNA-Schäden sowie das Absterben von Zellen (Apoptose).

2.4 AUSWERTUNG

Die Auswertung erfolgt verblindet mit codierten Präparaten, jeweils in einem Labor mit vorhandener Expertise, die Herstellung der stabilen Präparate und deren Codierung erfolgen örtlich und personell getrennt. Die statistische Auswertung erfolgt im Institut für medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) der Universität Mainz.

3. METHODIK

Die untersuchten Fibroblasten stammen aus Hautbiopsien von je 10 älteren (50-60 Jahre) und jüngeren (18-19 Jahre) Spendern. Es werden Fibroblasten-Zellkulturen etabliert und mögliche Effekte in den Zielzellen untersucht. Für die Untersuchungen werden Zellen in niedriger Passage verwendet. Befeldet wird mit einem gepulsten 1,8 GHz GSM-Signal (intermittierend 5 min an, 10 min aus; mit SAR-Werten von 0 (Scheinexposition) 0,2, 1 und 2 W/kg). Hinzu kommen Positivkontrollen. Als Endpunkte werden DNA-Strangbrüche mit dem

alkalischen Comet-Assay, Induktion von Mikrokernen, numerische Chromosomenaberrationen, oxidative DNA-Schäden, Apoptose sowie der Zellzyklus untersucht. Die Auswertung erfolgt mit verblindeten Präparaten, die Herstellung der stabilen Präparate und deren Codierung erfolgen örtlich und personell getrennt.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Projekt ist in 10 Arbeitspakete aufgeteilt, wobei das erste auf Grund umfangreicher Vorarbeiten 5, die Arbeitspakete 2-9 jeweils 3, und das letzte Arbeitspaket nur 1 Monat dauert; die Gesamtlänge des Projekts war ursprünglich auf 30 Monate angelegt. Der Projektverlauf verzögert sich gegenüber der Planung auf Grund technischer sowie Zellkultivierungsproblemen. Dass die Versuchsausfälle sich nur schwer wiederholen und damit ersetzen ließen, hatte mit dem zweiten Problemkreis, dem langsamen Wachstum der humanen Fibroblasten zu tun. Es zeigte sich bald, dass manche Proben sehr schlecht anwachsen und die Zellen sich nur extrem langsam vermehren ließen. Es wurde daher mit dem BfS vereinbart, dass in extremen Fällen der betreffende Proband unberücksichtigt bleibt und ein neuer Proband angeworben werden kann.

Die geringe Teilungsrate der Fibroblasten führte auch zu Problemen bei der Auswertung der numerischen Chromosomenaberrationen. Dieser Test erwies sich zudem im Vergleich zum Mikrokernstest mit CREST-Färbung (gleicher Endpunkt) auch als deutlich unempfindlicher. Der Mikrokernstest zeigt schon bei geringen Konzentrationen des Aneugens Colcemid reproduzierbare Effekte, während der nCA-Test erst bei einer doppelten Konzentration an Colcemid positiv wird. In Abstimmung mit dem BfS wurde der nCA-Test daher durch einen Mikrokernstest mit erhöhtem Stichprobenumfang ersetzt. Im Hinblick auf die Spindelstörungen in der Anaphase, die von Schmid und Schrader (2007) gefunden wurden, war es sinnvoll, nicht die normale Version mit 2000 binukleären Zellen einzusetzen, sondern deutlich höhere Zahlen an binukleären Zellen auszuwerten. Um die geringe Anzahl an Anaphasezellen zu berücksichtigen, werden jetzt 10.000 binukleäre Zellen pro Dosis ausgewertet. Diese Anpassung erfolgte ab Arbeitspaket 6. Die Anzahl der Probanden je Arbeitspaket blieb unverändert, jedoch wurden in den Arbeitspaketen 6 bis 9 die fälligen numerischen Chromosomenaberrationstests jeweils durch einen erweiterten CREST¹⁾-Mikronucleustest mit fünffachem Stichprobenumfang ersetzt.

Durch die größere Zahl der gezählten Binukleate ist zudem eine deutlich bessere Statistik erreichbar.

5. ERGEBNISSE

Es wurden weitere Probanden gewonnen, die Zellen erfolgreich angezchtet und weitere Tests erfolgreich durchgeführt und ausgewertet. Abgeschlossen sind die Auswertungen für 15 TUNEL-Tests, 16 Mikrokernstests mit 15 h Befeldung sowie 17 mit 72 h Befeldung, 16 Comet-Assays (4 h, 16 h, 24 h Befeldung), 15 FPG²⁾-Comet-Assays, 10 numerische Chromosomenaberrationen und 2 erweiterte Mikrokernstests. Alle Auswertungen für die abgeschlossenen Arbeitspakete wurden für eine vorläufige statistische Auswertung verblindet an das IMBEI versendet. Da sowohl Befeldungen als auch Auswertungen des Projektes noch laufen, wurde noch keine Entblindung durchgeführt. Die endgültige statistische Auswertung erfolgt nach Abschluss der experimentellen Auswertungen. Eine Aussage über mögliche Effekte kann daher zu diesem Zeitpunkt noch nicht getroffen werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

In den folgenden Arbeitspaketen werden die Untersuchungen, wie beschrieben, fortgesetzt. Ab dem Arbeitspaket 6 wurden die Analysen der numerischen Chromosomenaberrationen auf Grund der zu geringen Sensitivität bei den primären dermalen Fibroblasten durch CREST-Mikrokernstests mit fünffachem Stichprobenumfang ersetzt. Ein Abschluss des Projekts ist erst für das IV.Quartal 2011 zu erwarten.

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

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

Thema Gentoxische Effekte von Terahertz-Strahlung in vitro			
Subject <i>Genotoxic effects of terahertz radiation in vitro</i>			
Kennzeichen 3607S04533	Beginn 14.09.2007	Ende 31.03.2011	Fördermittel EUR 821.379,-
Forschungs- / Auftragnehmer Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig			
Projektleitung Prof. Dr. T. Schrader	Fachbetreuung BfS Dr. M. Asmuß / AG-SG 1.1	verantwortlich für den Text C. Jastrow, Prof. Dr. T. Schrader	

1. ZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben, das zusammen mit dem Institut für Toxikologie der Universität Würzburg sowie weiteren Partnern durchgeführt wird, soll untersuchen, inwieweit die Exposition lebender Zellen mit kontinuierlicher Terahertz-(THz)-Strahlung Risiken bezüglich möglicher DNA (Desoxyribonukleinsäure)- und / oder genomschädigender Wirkung erwarten lässt. Die Relevanz des Projekts ergibt sich aus der zunehmenden Anwendung hochfrequenter elektromagnetischer Felder im Millimeterwellen- und Terahertz-Bereich. Bisher existieren nur wenige belastbare Studien, die sich mit biologischen Wirkungen in diesem Frequenzbereich beschäftigen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 KONSTRUKTION DER EXPOSITIONSEINRICHTUNG UND CHARAKTERISIERUNG DER THz-QUELLEN

Um die Zellproben während der mehrstündigen Exposition in einem physiologisch günstigen Bereich zu halten und etwaige Fremdeffekte auf den Zellmetabolismus zu vermeiden, sollten die Befeldungen in einem handelsüblichen Brutschrank mit einer definierten CO₂-Atmosphäre durchgeführt werden. Eine derartige Expositionseinrichtung (Kombination Brutschrank mit unterschiedlichen Terahertz-Quellen) musste speziell für das Projekt entwickelt werden.

Um die Feldeinkopplung zu ermöglichen, mussten Öffnungen in der Inkubatorwand vorgesehen werden, die mit im THz-Frequenzbereich transparenten Fenstern abgedichtet wurden. Ein elektrisch neutraler Probenhalter und eine Absorberauskleidung der Kammer verhindern Feldverzerrungen und -überhöhungen durch stehende Wellen. Für eine möglichst gleichmäßige Bestrahlung der Proben wird eine Gaußstrahlbreite von 2 cm bei 106 GHz und 2,52 THz und 3 cm bei 380 GHz eingestellt und mit verschiedenen Scan-Verfahren verifiziert. Die integrale Leistung der Gaußstrahlen wird rückgeführt auf die SI-Einheiten (internationales Einheitensystem) gemessen und mittels geeigneter Abschwächer auf die benötigten Leistungsflussdichten reduziert. Während für die Leistungsmessung bei 2,52 THz ein an der PTB Berlin rückgeführt kalibrierter Pyrodetektor zur Verfügung steht, muss für die anderen Frequenzen ein neues Verfahren zur rückgeführten Leistungsmessung mit einem Thomas-Keating-Power-Meter entwickelt werden.

2.2 NUMERISCHE BERECHNUNGEN DER DOSIMETRIE UND VERIFIKATIONSMESSUNGEN

Zur Ermittlung der Feldverteilung innerhalb der Expositionszone und der spezifischen Absorptionsrate (SAR) werden numerische Simulationen bei 106 GHz mittels Finite-Integral-Methode durchgeführt. Die dielektrischen Parameter der verwendeten Materialien wurden recherchiert, durch THz-Zeitbereichsspektroskopie verifiziert und in die Simulationsmodelle eingepflegt. Dieses Vorgehen ist notwendig, da die Ergebnisse sehr stark von den Materialparametern abhängen. Die in numerischen Simulationen bestimmte Erwärmung der Proben wird darüber hinaus durch Temperaturmessungen während der Exposition verifiziert.

2.3 AUSWAHL UND ETABLIERUNG DER ZELLINIEN UND DER ENDPUNKTE

Da die Eindringtiefe von THz-Wellen in den menschlichen Körper unter einem Millimeter liegt, werden zwei gut charakterisierte humane Hautzelllinien (HaCaT und primäre Fibroblasten) ausgewählt. Diese werden mit kontinuierlicher THz-Strahlung exponiert und auf mögliche gentoxische Schäden hin untersucht. Als biologische Endpunkte werden

- die Entstehung von Mikrokernen sowie
- die Induktion von DNA-Strangbrüchen betrachtet.

Neben der Erstellung von Wachstumskurven für die beiden untersuchten Zelllinien wurden Protokolle für geeignete Färbemethoden ausgearbeitet. Ferner wurden verschiedene Methoden zur Proliferationsermittlung unter anderem in Hinblick auf Stoffkonzentration und Behandlungszeit ermittelt. Als geeignete Nachweismethoden erwiesen sich Cytochalasin B und eine EdU-Inkorporation. Die verwendeten Positivkontrollen Vinblastin, Mitomycin C und Methylmethansulfonat wurden hinsichtlich Konzentration, Behandlungsdauer und Expositionszeit optimiert.

3. METHODIK

Für die Feldexpositionsversuche werden Zelllinien verwendet, die hinsichtlich der Beurteilung des Gefährdungspotenzials von THz-Strahlung für den Menschen relevant sind. Da elektromagnetische Wellen mit Frequenzen oberhalb von 100 GHz nur in die Haut eindringen können, wurden für das Projekt Hautzellen ausgewählt. Dadurch, dass die Zellen als Monolayer am Boden der Petrischale anhaften, ist sichergestellt, dass diese auch tatsächlich den eingestrahlten THz-Feldern ausgesetzt sind. Die Transparenz der Petrischalen wurde durch THz-Zeitbereichsspektroskopie nachgewiesen. Bei den Versuchen werden Sekundäreffekte durch geeignete Wahl und Überwachung der Umgebungsbedingungen minimiert. Erstmals wird in dem Projekt eine zuverlässige Dosimetrie ermöglicht, indem die Quellen genau charakterisiert werden und die Leistungsdichte am Ort der Feldexposition rückgeführt auf die SI-Einheiten gemessen wird. Durch die Exposition mit verschiedenen Leistungsdichten kann im Fall eines positiven Ergebnisses eine Dosis-Wirkungsbeziehung gefunden werden. Um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu erhöhen, werden nach einer ersten Probereihe drei weitere, unabhängige Versuchsreihen durchgeführt.

Die Zellproben werden bei drei verschiedenen Frequenzen (106 GHz, 380 GHz und 2,52 THz) für jeweils 2 und 8 Stunden bei verschiedenen Leistungsflussdichten zwischen 0 mW/cm^2 und 2 mW/cm^2 exponiert. Die Analyse potenzieller Zellschäden geschieht mit dem alkalischen Comet-Assay und dem Mikrokerntest, mit Hilfe derer DNA-Strangbrüche bzw. Chromosomenbrüche und -fehlverteilungen detektiert werden können. Dabei werden Effekte in den THz-exponierten Proben mit Negativ- und Positivkontrollen verglichen.

Die Auswertung der Versuchsreihen erfolgt mit dem Mann-Whitney-U-Test, da auf Grund der begrenzten Zahl an Wiederholungsexperimenten nicht von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden kann. Um eine durch subjektive Erwartungen beeinflusste Beurteilung der Proben auszuschließen, wird die Versuchsdurchführung verblindet, d. h. die Auswertung erfolgt ohne Kenntnis der Expositionssituation.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Zellaufzucht erfolgt am Helmholtzzentrum für Infektionsforschung in Braunschweig. Anschließend werden die Proben unverzüglich zum Expositionsort transportiert. Die Feldexpositionen bei 106 GHz und 380 GHz erfolgen an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig, die Feldexposition bei 2,52 THz am Institut für Hochfrequenztechnik der TU Braunschweig. Die Bestrahlungen erfolgen in dem oben beschriebenen, umgebauten Inkubator, der zusammen mit der gesamten Laborausstattung vor dem Beginn der Reihe an den Ort der jeweiligen Feldquelle transportiert und eingerichtet wird. Probenhandhabung und Fixierung werden unter Anleitung der Universität Würzburg durchgeführt. Im Anschluss an die Expositionen werden die fixierten Proben zur Universität Würzburg transportiert und dort ausgewertet. Die Erfahrungen und Ergebnisse der ersten Testreihe wurden genutzt, um Probleme und mögliche Fehler bei der Durchführung der drei Testreihen auf ein Minimum zu reduzieren und nötige Anpassungen wie die Reduktion der maximalen Leistungsflussdichte wegen eines zu hohen Temperaturanstiegs in der Probe rechtzeitig vornehmen zu können. Mit diesen festgelegten Parametern werden drei zeitlich unabhängige Expositionsreihen durchgeführt und ausgewertet.

5. ERGEBNISSE

5.1 NUMERISCHE SIMULATIONEN UND DOSIMETRIE

Die Simulationen mit CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio bei 106 GHz zeigen eine starke Absorption der Feldenergie durch das Kulturmedium. Das führt zu relativ hohen SAR-Werten von 5,8 W/kg in der Ebene der Zellschicht 50 µm über dem Boden der Petrischale bei Anregung mit 1 mW/cm². Des Weiteren ergaben die Berechnungen einen Temperaturanstieg von ca. 0,2 °C, der durch zwei unabhängig voneinander durchgeführte Temperaturmessungen während der Exposition bestätigt werden konnte. Da durch eine Befeldung mit 10 mW/cm², wie zunächst im Projektantrag vorgesehen war, ein Anstieg der Proben temperatur auf über 40 °C festgestellt wurde, wurde die maximale Leistungsflussdichte für die Feldexpositionsversuche auf 2 mW/cm² beschränkt. Eine thermische Schädigung der Zellen wäre sonst sehr wahrscheinlich gewesen.

5.2 CHARAKTERISIERUNG DER THz-QUELLEN

Die Messungen der Strahlbreiten haben ergeben, dass die Expositionen mit den gewünschten Leistungsdichten bei 106 GHz in einem 2-cm-Strahl und bei 380 GHz in einem 3-cm-Strahl erfolgen können. Die Ausgangsleistung des FIR (Fern-Infrarot)-Lasers bei 2,52 THz ist jedoch technisch bedingt so gering, dass lediglich Leistungsflussdichten von max. 1 mW/cm² in einem 2 cm breiten Gaußstrahl erreicht werden können. Ein zweidimensionaler Scan der verwendeten Strahlprofile bei 106 GHz und 380 GHz mit Hilfe einer dünnen dielektrischen Faser direkt am Ort der Probe hat ergeben, dass die Strahlprofile durch die Probenhalterung leicht verzerrt werden. Diese Tatsache findet Berücksichtigung in der Messunsicherheitsbetrachtung.

5.3 ERGEBNISSE DER EXPOSITIONSREIHEN

Die bisher durchgeführten Expositionsreihen wurden ausgewertet. Signifikante Unterschiede zwischen den Expositionsgruppen haben sich bisher nicht ergeben. Da sämtliche vorliegende Proben ausgewertet werden konnten und die durchweg konstante Zellproliferation eine sorgfältige Probenhandhabung während der gesamten Projektlaufzeit erkennen lässt, kann daraus geschlossen werden, dass bei den bisher getesteten Frequenzen, Intensitäten und Bestrahlungsdauern keine klaren oder konsistenten Effekte beobachtet werden konnten. Hinweise auf die Induktion von DNA-Schäden, chromosomale oder genomische Schäden durch die Befeldung ergeben sich bisher nicht. Allerdings müssen Expositionen bei 2 mW/cm² nachgeholt werden, da die exakte Dosimetrie ergeben hat, dass diese Expositionshöhe bisher nicht erreicht wurde.

In parallel laufenden Untersuchungen wurden in der PTB jedoch Spindelstörungen bei 106 GHz entdeckt, die sich prinzipiell auch in Mikrokernen manifestieren müssten. Diese Diskrepanz ist noch nicht geklärt. Eventuell könnte dies durch einen Verdünnungseffekt zwischen den beiden Analyseprotokollen erklärt werden, da das verwendete, international anerkannte Mikrokernprotokoll nur einen geringen Prozentsatz der Mitosen betrachtet.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im Rahmen der Projektverlängerung werden weitere Expositionsreihen mit einer Expositionsdauer von 24 h durchgeführt. Um den Verdünnungseffekt zwischen dem Spindelstörungstest und dem im Projekt verwendeten Mikrokernprotokoll zu umgehen, werden für die Auswertung nun 10.000 Zellen statt 2.000 wie zuvor analysiert, um mehr Mikrokerne zu erfassen und somit die Sensitivität des Mikrokerntests zu erhöhen. Die Projektpartner wollen durch dieses Vorgehen den Zusammenhang zwischen Spindelstörungen und Mikrokernen untersuchen und dadurch den Nachweis führen, ob mikrokerninduzierende Effekte während der Phase der Zellteilung existieren. Da die Arbeiten extrem aufwendig sind, werden die Zusatzexpositionen lediglich bei 106 GHz und der höchsten Leistungsflussdichte von 2 mW/cm² durchgeführt, zumal auch die Spindelstörungen bei dieser Frequenz entdeckt wurden. Zusätzliche Positivkontrollen, Sham-Expositionen und unbehandelte Kontrollen laufen unverändert weiter.

Thema			
Einfluss niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf das sich entwickelnde blutbildende System, das Immunsystem und das ZNS in vivo			
Subject			
<i>Influence of low frequency electromagnetic fields on the developing hematopoietic system, immune system and CNS in vivo</i>			
Kennzeichen 3608S03006	Beginn 01.05.2009	Ende 30.04.2012	Fördermittel EUR 742.990,-
Forschungs- / Auftragnehmer Fraunhofer Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin (ITEM), Hannover			
Projektleitung Dr. G. Lewin	Fachbetreuung BfS Dr. M. Asmuß / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text Dr. G. Lewin, Dr. J. Buschmann	

1. ZIELSETZUNG

Vor allem auf Grund epidemiologischer Studien, in denen sich eine statistische Assoziation zwischen einer Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern und dem Auftreten von Leukämien im Kindesalter darstellte, wurden niederfrequente Felder von der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) als „potenziell krebserregend“ eingestuft. Ein ursächlicher Zusammenhang konnte bisher in experimentellen Studien nicht bestätigt werden. In Erweiterung bisheriger tierexperimenteller Studien werden im laufenden Forschungsprojekt die Einflüsse einer pränatal beginnenden und bis ins Alter fortgesetzten Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern auf das sich in der Entwicklung befindliche blutbildende System, das Immunsystem und das Zentralnervensystem (ZNS) in Mäusen untersucht. Hierbei erfolgt eine kontinuierliche Ganzkörperexposition der Tiere mit magnetischen Flussdichten, welche sowohl den Bereich der epidemiologischen Studien am Menschen als auch die gegenwärtigen Grenzwerte der Bundesimmissionschutzverordnung abdecken.

2. EINZELZIELSETZUNG

In der vorliegenden Studie soll der Einfluss einer chronischen Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern an einem etablierten Maus-Modell untersucht werden. Hierbei werden die Expositionsbedingungen so gewählt, dass im Körper der Tiere Stromdichten induziert werden, die denen entsprechen, welche beim Menschen unter Exposition mit magnetischen Flussdichten von 0, 1, 100 und 1.000 μT auftreten. Sowohl die neu entwickelten technischen Anlagen als auch alle implementierten Sicherheitseinrichtungen und die optimalen Versuchsbedingungen wurden in Vorversuchen getestet.

2.1 UNTERSUCHUNGEN AN JUNGEN TIEREN BIS ZUM ALTER VON 90 TAGEN (TEILSTUDIE A)

In einer ersten Phase von Versuchen sollen junge Mäuse, die seit ihrer intra-uterinen Entwicklung kontinuierlich niederfrequenten Magnetfeldern ausgesetzt waren, zu verschiedenen Zeitpunkten auf die Reifung ihres blutbildenden und Immunsystems sowie ihres Zentralnervensystems hin untersucht werden.

2.2 WEITERFÜHRENDE UNTERSUCHUNGEN ZUM ALTERUNGSPROZESS DER TIERE (TEILSTUDIE B)

In weiterführenden Untersuchungen soll der natürliche Alterungsprozess der Tiere, inklusive einer möglichen Ausbildung von Tumoren des lymphatischen Systems, überwacht werden. Im Alter von 18 Monaten sollen wiederum Untersuchungen des blutbildenden und des Immunsystems erfolgen und alle Tiere einer abschließenden pathologischen Begutachtung unterzogen werden.

3. METHODIK

Alle Untersuchungen werden an weiblichen CD-1-Mäusen und unter SPF-Bedingungen (Specific Pathogen Free) durchgeführt. Die Exposition erfolgt verblindet, d. h. es ist im Versuchsaufbau nicht ersichtlich, welche

Versuchsgruppe den entsprechenden Magnetfeldstärken ausgesetzt ist. Die Studie wird in 5 Versuchsgruppen durchgeführt: 3 Dosisgruppen, 1 Scheinexposition sowie 1 Käfigkontrolle. Die Befeldung erfolgt kontinuierlich für 20 h/d. Eine 4-stündige Unterbrechung der Exposition ist für die Durchführung aller tierpflegerischen Arbeiten notwendig. Um zusätzliche Stressfaktoren, welche sich auf das Immunsystem und das Verhalten auswirken könnten, auszugleichen, werden die Tiere vibrationsfrei und bei einem ausgeglichenen Geräuschpegel gehalten.

In der Teilstudie A (Untersuchungen bis 90 Tage) werden 40 Tiere pro Expositionsgruppe und 40 Tiere als Käfigkontrolle untersucht, in der Teilstudie B (Untersuchungen bis 18 Monate) 70 Tiere / Expositionsgruppe und 70 Käfigkontrollen.

3.1 BIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

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

Aus jeder Versuchsgruppe werden 70 weibliche Tiere ausgewählt, um an ihnen den Alterungsprozess bis zu einem Alter von 18 Monaten zu beobachten. An diesen Tieren erfolgt darüber hinaus die Bestimmung des zeitlichen Eintrittes in das fortpflanzungsfähige Alter. Im Alter von 18 Monaten werden auch hier an 20 Tieren pro Gruppe hämatologische und immunologische Untersuchungen, analog zu den oben beschriebenen Parametern, durchgeführt. Am Ende der Studie werden alle Tiere histopathologisch auf Veränderungen relevanter Organe wie Thymus, Milz, Lymphknoten, Knochenmark, Leber, Gehirn und ggf. Tumoren weiterer Organe hin begutachtet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ÜBERWACHUNG DER EXPOSITIONSEINRICHTUNGEN

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

4.2 BIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

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

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

5. ERGEBNISSE

Auf Grund der Verblindung der Studie ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Auswertung der Studienergebnisse hinsichtlich Unterschieden zwischen scheinexponierten und Magnetfeld-exponierten Untersuchungsgruppen möglich.

5.1 INTRA-UTERINE UND FRÜHE POSTNATALE ENTWICKLUNG DER JUNGTIERE

Die Magnetfeldexposition wurde bisher sowohl von den trächtigen Muttertieren als auch von ihren Würfen gut toleriert. Diese Schlussfolgerung lässt sich auch unter verblindeten Bedingungen ziehen, da keine Unterschiede zwischen den 4 Expositions-Gruppen (inklusive der scheinexponierten Gruppe) auftraten. Es wurden weder auffällige Veränderungen in der Trächtigkeitsphase beobachtet noch traten Einschränkungen der Überlebensfähigkeit der Jungtiere auf. Die Jungtiere entwickelten sich altersgerecht und es zeigten sich keine Auffälligkeiten in der zeitlichen Ausbildung von Reflexen und bei verhaltenbiologischen Testungen.

5.2 ENTWICKLUNG DER TIERE BIS ZUM ERWACHSENENALTER

Bis zu einem Alter von 90 Tagen wurde keine erhöhte Mortalität beobachtet. Weitere Verhaltenstestungen um Tag 30 und 60 waren unauffällig. Hämatologische Untersuchungen an Tag 28 zeigten in allen Spulen-exponierten Gruppen (Schein- und Magnetfeldexposition) eine vorübergehende Verringerung der Lymphozytenanzahl. An Tag 90 wurde dieser Befund nicht mehr beobachtet. Da die hämatologischen Daten den natürlichen Schwankungen für diese Tierspezies, Rasse, Alter und Geschlecht entsprachen, wurden sie als nicht toxikologisch relevant eingestuft. Immunologische Untersuchungen zeigten sowohl an Tag 28 als auch an Tag 90 keine Veränderungen der Proliferationsfähigkeit von Milzzellen. Die Differenzierung immunologisch relevanter Zellen zeigte eine leichte Verringerung zytotoxischer T-Lymphozyten im peripheren Blut und in der Milz in 2 Spulen-exponierten Gruppen. Dieser Effekt war an Tag 90 in der Milz am deutlichsten sichtbar. Hier können vor der Aufhebung der Verblindung keine Aussagen darüber gemacht werden, welche der Expositionsgruppen betroffen sind.

Die bisherigen Daten beider Teilstudien sprechen nicht für gravierende Effekte der Befeldung auf die prä- und postnatale Entwicklung der Tiere. Auf Grund der vorliegenden Verblindung ist eine Bewertung vorliegender Einzelbefunde nicht möglich.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

In der anschließenden Phase des Forschungsvorhabens werden die nunmehr erwachsenen Mäuse in den Expositionseinrichtungen weiterhin kontinuierlich unterschiedlich starken Magnetfeldern ausgesetzt. Der Alterungsprozess der Tiere wird dabei beobachtet und im Alter von 18 Monaten erfolgt eine weitere Untersuchung des blutbildenden und Immunsystems sowie eine pathologische Beurteilung aller Tiere.

Thema			
Auswirkungen der Exposition mit starken statischen Magnetfeldern auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Probanden			
Subject			
<i>Effects of exposure to strong static magnetic fields on the cognitive performance of volunteers</i>			
Kennzeichen 3608S03009	Beginn 01.09.2008	Ende 31.08.2011	Fördermittel EUR 624.010,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg (DKFZ) Zentralinstitut für Seelische Gesundheit Mannheim (ZI)			
Projektleitung Prof. Dr. Dr. W. Semmler	Fachbetreuung BfS PD Dr. B. Pophof / AG-SG 1.1	verantwortlich für den Text Dr. P. Meyer, Dr. J. Rauschenberg, Prof. M. Deuschle	

1. ZIELSETZUNG

Ziel ist es, die Auswirkungen statischer Magnetfelder und kontrollierter Bewegungen in statischen Magnetfeldgradienten auf die kognitive Leistungsfähigkeit von gesunden Probanden zu untersuchen. Unterschiedliche Tests zu Gedächtnis, Reaktionszeit, visueller Kontrastsensitivität etc. sowie Stressuntersuchungen werden im statischen Magnetfeld von drei Magnetresonanztomographen (MRT) verschiedener Magnetfeldstärke und zur Kontrolle im feldfreien Raum bei möglichst gleichen Umweltbedingungen durchgeführt.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUSWIRKUNGEN AUF DIE KOGNITION

Untersucht werden Aufmerksamkeit, Reaktionszeit, verschiedene Gedächtnisprozesse, Auge-Hand-Koordination und verschiedene Leistungen des visuellen Systems.

2.2 AUSWIRKUNG AUF STRESS-RESPONSIVE SYSTEME UND WOHLBEFINDEN

Um zu überprüfen, ob die Probanden während der Untersuchung an erhöhtem Stress leiden, wurden Speichel- und Blutproben zur Messung von Stresshormonen genommen, sowie die Herzrate während der Untersuchung gemessen. Zusätzlich wurden den Probanden vor, während und nach den Untersuchungen verschiedene Fragebögen zur Befindlichkeit vorgelegt.

3. METHODIK

Zur Erfassung der Einflussgrößen wurde ein Messgerät entwickelt, mit dem gleichzeitig die lokale Magnetfeldstärke und die sich zeitlich ändernde Magnetfeldstärke erfasst werden können. Diese Sonde wurde am Kopf des Probanden getragen. Um den Einfluss von Bewegung im Streufeld des MRT zu untersuchen, wurde eine Motorkonstruktion entwickelt, mit der die Patientenliege des jeweiligen MRT sinusförmig durch den Bereich der höchsten Magnetfeldänderung bewegt werden kann. Die Maximalgeschwindigkeit von 9 cm/s wurde bei 7 T toleriert. Zur Realisierung der Kontrolluntersuchung (0 T) wurde ein nicht mehr verwendetes MR-System ohne Magnet aufgebaut. Die Aufnahme der Geräuschkulisse an einem MR-System im Betrieb und das Abspielen realisierten gleiche Umgebungsbedingungen. Des Weiteren wurden an allen Geräten gleiche Lichtverhältnisse geschaffen. Zur Präsentation der neuropsychologischen Tests wurde ein MR-kompatibler Monitor entwickelt, der auf der Liege befestigt wurde. Die Probanden sahen den Monitor über eine Spiegelkonstruktion. Ein speziell adaptierter Trackball wurde entwickelt, mit dem die Probanden im Tomographen einen Zeiger bewegen und antworten konnten.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 VORTESTS

Am Zentralinstitut für Seelische Gesundheit in Mannheim wurden die Probanden vor der Teilnahme an der Studie in schriftlicher und mündlicher Form aufgeklärt und gaben ihr Einverständnis zu Studienteilnahme. Es erfolgte eine ärztliche und neuropsychologische Untersuchung. Neben vollständiger Erhebung der Eigenanamnese erfolgte eine körperliche Untersuchung, incl. neurologischer Befunderhebung, Routinelaboruntersuchungen sowie ein Ausschluss von Cannabismisbrauch mittels Urin-Drogenscreening. Die neuropsychologische Untersuchung beinhaltete einen IQ-Test, die Überprüfung verschiedener neuropsychologischer Funktionsgebiete und einen Fragebogen zu eventuellen somatoformen Störungen. Zum Schluss übten die Probanden die vorgesehenen Aufgaben, um einen Lerneffekt über die einzelnen Untersuchungen in den Scannern hinweg zu minimieren.

4.2 UNTERSUCHUNGEN IM STATISCHEN MAGNETFELD

Die Untersuchungen im Magnetfeld erfolgten am Deutschen Krebsforschungszentrum Heidelberg. Die Probanden wurden im Abstand von je einer Woche jeweils einer der folgenden Feldstärken exponiert: 0 T, 1,5 T, 3 T und 7 T. Ein Teil der Probanden wurde vormittags und der andere Teil nachmittags untersucht. Es erfolgte eine „Verblindung“, d. h. die Probanden wurden mit Augenbinde an die MR-Systeme geführt, um zu verhindern, dass sie die aktuelle Feldstärke kennen. Nach Ausfüllen der Fragebögen zur Befindlichkeit, Blut- und Speichelabnahme, Anlegen des EKG (Elektrokardiogramm) und Umziehen in einem separaten Raum, wurden die Probanden im Zentrum des Tomographen platziert, wobei sie die Magnetfeldmesssonde trugen. Nachdem sie still liegend alle Aufgaben absolviert hatten, erfolgte eine Pause, in der die Probanden nochmals Fragebögen beantworteten. Danach erfolgte eine zweite Serie von Parallelversionen aller Aufgaben unter Bewegung der Patientenliege. Vor und nach jeder Bedingung (mit / ohne Bewegung) wurden Speichelproben zur Kortisolbestimmung entnommen. Als Abschluss erfolgte erneut eine Blutabnahme, eine kurze neurologische Untersuchung, eine Befragung über das Befinden und die gespürten Auswirkungen der Untersuchung. Zusätzlich sollten die Probanden die Wahrscheinlichkeit einschätzen, mit der sie im 0 T, 1,5 T, 3 T und 7 T MR-System gelegen haben.

5. ERGEBNISSE

Die Untersuchungen von 21 männlichen und 20 weiblichen Probanden im Alter von 18-34 sind vollständig abgeschlossen.

5.1 ERFOLG DER VERBLINDUNG

Insgesamt wurden das 7 T-Magnetfeld zu 35,5%, das 3 T-Feld zu 24%, das 1,5 T-Feld zu 28,7% und die 0 T-Bedingung zu 29,2% richtig geschätzt. Dieses Ergebnis ist nicht signifikant gegenüber dem Zufallswert von 25%.

5.2 NEUROPSYCHOLOGISCHE TESTUNG

Es zeigten sich keine Effekte der verschiedenen statischen Magnetfelder bis 7 Tesla auf die Kognition in den Teilbereichen Aufmerksamkeit, Reaktionszeit, Kurzzeitgedächtnis, Arbeitsgedächtnis, verbales Langzeitgedächtnis, Auge-Hand-Koordination, visuelle Diskriminierung, visuelle Kontrastsensitivität und visuelles Verfolgen. Allerdings zeigten sich Effekte der Bedingung mit bzw. ohne Bewegung innerhalb des statischen Magnetfeldes. Signifikante Verbesserungen in der Testleistung während Bewegung zeigten sich für Auge-Hand-Koordination, für die Schnelligkeit beim Linienhalbierungstest sowie bei zwei Zielverfolgungstests. Beim Kurzzeitgedächtnis (Zahlentest), einem Teilttest zum Arbeitsgedächtnis (N back 3) und der visuellen Kontrastsensitivität zeigten die Probanden ebenfalls bessere Leistungen während der Bewegung. Signifikant schlechtere Leistungen in der Bewegungsbedingung zeigten sich für visuelle Unterscheidbarkeit und Reaktionszeit. Zur Aufklärung dieser Effekte wurde das Ausmaß der Leistungsverbesserung bzw. -verschlechterung in den verschiedenen Feldstärken verglichen. Es zeigten sich keine Unterschiede im Ausmaß der Veränderung zwischen den Feldstärken, der Effekt trat auch während der Scheinexposition auf. Da die Bewegungsbedingung immer als zweites durchgeführt wurde, kann daher davon ausgegangen werden, dass es sich bei den Verbesserungen in der Testleistung um einen kurzfristigen, von der Feldstärke unabhängigen, Lerneffekt handelt und bei den gegen Lerneffekte robusten Tests der visuellen Unterscheidbarkeit und Reaktionszeit um einen Ermüdungseffekt.

5.3 AUSWIRKUNG AUF STRESS-RESPONSIVE SYSTEME UND WOHLBEFINDEN

Bezüglich des Wohlbefindens zeigten sich für vier Symptome signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von der Feldstärke, nämlich für Schwindelgefühle, unkontrollierbare rhythmische Augenbewegungen, Lichtblitze und Klingeln im Kopf. Die vertiefte statistische Analyse zeigte nur für Schwindel einen signifikant höheren Wert bei 7 Tesla verglichen mit allen anderen Feldstärken.

5.3.1 Kortisol im Speichel

Es wurden im Verlauf jedes experimentellen Durchgangs 7 Speichelproben gesammelt. Dabei zeigte sich von Beginn bis zum Ende der Versuche ein Abfall der Kortisolkonzentrationen in allen Untersuchungsbedingungen; dieser Abfall war bei 0 T und 3 T statistisch signifikant. Die Kortisolkonzentrationen waren in den Vormittagsstunden grundsätzlich höher, so dass die Untersuchungszeit in der statistischen Berechnung berücksichtigt werden musste. Unter diesen Voraussetzungen fand sich kein signifikanter Effekt der Feldstärke an sich (0 T gegen 1,5 T gegen 3 T gegen 7 T). Weder das Alter noch das Geschlecht hatten einen Einfluss auf die genannten Beobachtungen.

5.3.2 Katecholamine im Serum

Vor und nach der Exposition der Probanden wurde Blut zur Bestimmung der Stresshormone Adrenalin und Noradrenalin (= sog. „Katecholamine“) abgenommen. Bei 7 T zeigte sich von Beginn bis zum Ende der Experimente eine Zunahme der Noradrenalinkonzentrationen. Ansonsten führte die Feldexposition zu keiner signifikanten Änderung.

5.3.3 Herzratenvariabilität

Die Untersuchung der Herzratenvariabilität konnte nicht wie erwünscht durchgeführt werden. Die Auswertung des EKGs bei hohen Feldstärken war erschwert. Zudem konnte die Herzratenvariabilität bei 0 T aus technischen Gründen nicht ausgelesen werden.

5.3.4 Neurologische Untersuchung

In der neurologischen Untersuchung wurden insbesondere Kleinhirnfunktionen (z. B. Feinmotorik, Koordination) geprüft. Es fanden sich weder vor noch nach der jeweiligen Feldexposition medizinisch relevante Beeinträchtigungen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Datenerhebung und statische Auswertung sind abgeschlossen, der Abschlussbericht ist in Arbeit. Auf der Konferenz der „International Society for Magnetic Resonance in Medicine“ in 2011 werden Teilaspekte des Projekts präsentiert. Weitere Publikationen sind in Arbeit und sollen 2011 veröffentlicht werden.

Thema			
Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT auf die Endpunkte Fortpflanzung und Entwicklung im Tiermodell			
Subject			
<i>Effects of repeated exposure with strong static magnetic fields of MRI on reproduction and development in an animal model</i>			
Kennzeichen 3608S04557	Beginn 01.04.2008	Ende 31.03.2011	Fördermittel EUR 727.977,-
Forschungs- / Auftragnehmer Universitätsklinikum Essen			
Projektleitung Prof. Dr. E. Winterhager, Prof. Dr. R. Grümmer, Prof. Dr. M. Ladd	Fachbetreuung BfS PD Dr. B. Pophof / AG-SG 1.1	verantwortlich für den Text Prof. Dr. E. Winterhager, Prof. Dr. R. Grümmer, Prof. Dr. M. Ladd	

1. ZIELSETZUNG

Die Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT (Magnetresonanztomographie) auf die Endpunkte Fortpflanzung und Embryonalentwicklung im Tiermodell sollen untersucht werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

In dieser Studie wird die Auswirkung täglich wiederholter Exposition mit statischen Magnetfeldern (1,5 und 7 Tesla) auf die Spermienreifung bei männlichen Mäusen nach direkter Exposition sowie nach Exposition während der Embryonal-Entwicklung in der Gebärmutter untersucht. Ebenso wird bei trächtigen weiblichen Mäusen die Auswirkung auf den Schwangerschaftsverlauf sowie die Entwicklung und Fruchtbarkeit der männlichen und weiblichen Nachkommen ausgewertet.

2.1 EFFEKT STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE SPERMIENENTWICKLUNG

Es werden die Gewichte von Nebenhoden, Nebenhodenschwanz und Hoden sowie die Konzentration, Vitalität und Morphologie der Spermien nach direkter täglicher Exposition ermittelt.

2.2 EFFEKT STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE FRUCHTBARKEIT VON MÄNNLICHEN MÄUSEN NACH EXPOSITION MIT STATISCHEN MAGNETFELDERN WÄHREND DER EMBRYONAL-ENTWICKLUNG IN DER GEBÄRMUTTER (F1-GENERATION)

Auch hier werden die Gewichte von Nebenhoden, Nebenhodenschwanz und Hoden, sowie die Konzentration, Vitalität und Morphologie der Spermien ermittelt. Zusätzlich wird die Fruchtbarkeit der exponierten Männchen durch Verpaarung mit nicht behandelten Weibchen und Bestimmung von Anzahl und Gewicht der Föten, und Gewichte der Plazenten am Ende der Schwangerschaft überprüft.

2.3 EFFEKT STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE FRUCHTBARKEIT VON WEIBLICHEN MÄUSEN UND DEN TRÄCHTIGKEITSVERLAUF

Die Trächtigkeitsdauer und die Wurfgröße werden nach direkter Exposition während der Trächtigkeit bestimmt.

2.4 EFFEKTE STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE ENTWICKLUNG DER FÖTEN

Sowohl die Größe als auch das Wachstum und die Gewichte der Neugeborenen werden in den ersten beiden Monaten bestimmt.

2.5 EFFEKTE STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE FRUCHTBARKEIT VON WEIBLICHEN MÄUSEN NACH EXPOSITION MIT STATISCHEN MAGNETFELDERN WÄHREND DER EMBRYONAL-ENTWICKLUNG IN DER GEBÄRMUTTER (F1-GENERATION)

Hier sollen die in utero exponierten Weibchen mit nicht exponierten Männchen verpaart und gegen Ende der Trächtigkeit die Anzahl der Föten sowie die Gewichte der Föten und der Plazenten bestimmt werden.

3. METHODIK

3.1 UNTERSUCHUNG DES EINFLUSSES STATISCHER MAGNETFELDER AUF FRUCHTBARKEIT UND ENTWICKLUNG

Die Bedingungen der Exposition von Patienten sowie auch des betreuenden Personals werden so weit wie möglich nachgestellt, indem die Mäuse sowohl im Isozentrum als auch unmittelbar neben dem Eingang der Röhre exponiert werden. Zur Validierung der Versuchsergebnisse werden die statischen Magnetfelder vor dem Beginn der Experimente gemessen. Ebenso werden der Lärmpegel sowie die Lichtverhältnisse im Gerät und außerhalb des Gerätes quantitativ dokumentiert. Die Auswirkungen des statischen Magnetfeldes, sowohl des 1,5 als auch des 7 Tesla MRTs, auf die Fruchtbarkeits- und Entwicklungsparameter werden im Vergleich zu scheinexponierten Mäusen und Käfigkontrollen analysiert.

3.2 STATISTIK

Bei dieser Studie handelt es sich um eine Hypothesen-generierte Studie. Pro Versuchsgruppe werden jeweils 32 weibliche und 32 männliche Mäuse eingesetzt. Diese Gruppengröße entspricht der für die reproduktionstoxikologischen Untersuchungen in der Pharmaindustrie verlangten Gruppengröße. Der Einfluss der Exposition wird in zwei Gruppenvergleichen mittels t-Test für unverbundene Stichproben oder Mann-Whitney U-Test untersucht.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Experimente wurden in je 6 Versuchsgruppen durchgeführt. Je eine Versuchsgruppe wurde im Isozentrum eines 1,5 Tesla bzw. eines 7 Tesla MRT exponiert und je eine unmittelbar neben dem Eingang zur MRT-Röhre des 1,5 bzw. 7 Tesla Gerätes. Letztere Position entspricht der des medizinischen Personals. Als Kontrollen wurde eine Gruppe in einer Scheinexpositionsanlage exponiert und eine Versuchsgruppe als Käfigkontrolle gehalten. Die Behandlungsdauer betrug für männliche Mäuse täglich 75 Minuten über 21 Tage im MRT bzw. in der Scheinexpositionsanlage. Weibliche Mäuse wurden ab Tag 1,5 der Trächtigkeit bis Tag 18,5 täglich für 75 Minuten exponiert. Die Behandlungsperiode richtete sich nach der Dauer der Spermio-genese bzw. der Trächtigkeitsdauer, die bei Mäusen zwischen 19 und 21 Tagen liegt.

5. ERGEBNISSE

5.1 EFFEKTE STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE SPERMIENQUALITÄT IN ERWACHSENEN MÄUSEN

Bisher wurden 192 männliche Mäuse nach direkter Exposition untersucht. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Gewicht von Nebenhoden, Nebenhodenschwanz und Hoden in Bezug auf das individuelle Körpergewicht zwischen den einzelnen Untersuchungsgruppen. Ebenso zeigten sich auch keine Unterschiede im Hinblick auf die Konzentration, die Vitalität und die Morphologie der Spermien. Das heißt zusammengefasst, dass sowohl die Exposition im 7 Tesla- als auch im 1,5 Tesla-Gerät innen und außen im Vergleich zu den Käfigkontrollen und zu den Scheinexpositionskontrollen keine Effekte in den erhobenen Fruchtbarkeitsparametern zeigt.

5.2 FRUCHTBARKEIT MÄNNLICHER MÄUSE NACH DER EXPOSITION IN UTERO (F1-GENERATION)

Aus den sechs verschiedenen Versuchsgruppen wurden insgesamt 146 ausgewählte Männchen der F1-Generation nach Eintreten der Geschlechtsreife im Alter von 2 bis 3 Monaten auf ihre Fruchtbarkeit hin überprüft. Es zeigte sich weder ein Effekt der Exposition in den unterschiedlichen Magnetfeldern im Hinblick auf die Ge-

wichte von Nebenhoden, Nebenhodenschwanz und Hoden noch auf die Konzentration, Vitalität und Morphologie der Spermien im Vergleich zu den Käfig- und Scheinexpositionskontrollen. Wurden 79 dieser in utero exponierten Männchen mit unbehandelten Weibchen verpaart, so ergab sich auch am Ende der Trächtigkeit kein Einfluss auf Anzahl und Gewicht der Föten sowie auf das Gewicht der Plazenten.

5.3 EFFEKTE STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE WEIBLICHE FRUCHTBARKEIT UND DEN TRÄCHTIGKEITSVERLAUF

Bisher wurden 192 trüchtige weibliche Mäuse nach direkter Exposition während der gesamten Trächtigkeit untersucht. Sowohl die Trächtigkeitsdauer als auch die Wurfgröße zeigte zwischen den verschiedenen exponierten Gruppen im Vergleich zu den Käfigkontrollen und Scheinexpositionskontrollen keine signifikanten Unterschiede.

5.4 ENTWICKLUNG VON IN UTERO EXPONIERTE JUNGTIEREN

Die aus Punkt 5.3 hervorgegangenen Nachkommen zeigten weder in der Überlebensrate noch in der Größen- und Gewichtszunahme signifikante Unterschiede. Ebenso zeigten sich keine Unterschiede hinsichtlich makroskopischer Fehlbildungen und der Entwicklung dieser Nachkommen.

Fasst man die Ergebnisse aus 5.3 und 5.4 zusammen, so zeigt sich, dass weder die Fruchtbarkeit noch der Verlauf der Trächtigkeit durch die Exposition mit Magnetfeldern von 7 Tesla und 1,5 Tesla beeinträchtigt wird. Ebenso zeigte sich kein Einfluss auf die Entwicklung der Jungtiere hinsichtlich Größe, Gewicht und makroskopischer Fehlbildungen.

5.5 FRUCHTBARKEIT WEIBLICHER MÄUSE NACH EXPOSITION IN UTERO (F1-GENERATION)

Bisher wurden aus den sechs Versuchsgruppen, die während der Embryonal-Entwicklung in der Gebärmutter exponiert wurden, insgesamt 36 weibliche Mäuse mit nicht behandelten Männchen verpaart. Es zeigte sich kein Effekt auf die Anzahl ihrer Föten. 442 Föten wurden analysiert und zeigten ebenfalls keinen Effekt einer Magnetfeldexposition der Mütter auf ihr Gewicht oder auf das Gewicht der Plazenten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass eine tägliche 75-minütige Exposition für 21 Tage mit unterschiedlich starken Magnetfeldern (1,5 und 7 Tesla) - sowohl im Zentrum der Röhre als auch unmittelbar neben dem Röhreneingang - bei männlichen Mäusen nicht zu einer Verschlechterung der Spermienqualität führt und bei trüchtigen weiblichen Mäusen keinen Effekt auf die Fruchtbarkeit, den Trächtigkeitsverlauf und die Entwicklung der Nachkommen hat.

Ebenso hat eine Exposition während der gesamten Embryonal-Entwicklung keinen Effekt auf die Fruchtbarkeit männlicher und weiblicher Nachkommen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Expositionen sind abgeschlossen. In weiterführenden Versuchen werden noch zusätzliche männliche und weibliche Tiere der F1-Generation, die während der Embryonal-Entwicklung in der Gebärmutter den Magnetfeldern ausgesetzt waren, auf ihre Fruchtbarkeit hin untersucht werden. Im Anschluss erfolgt die endgültige statistische Auswertung der Versuchsergebnisse.

Thema

Erweiterungsstudie zu multinationaler Fall-Kontroll-Studie zu Hirntumoren durch Radiofrequenzstrahlung bei Kindern und jungen Erwachsenen (MOBI-KIDS)

Subject

Extension study to a multinational case-control study of brain cancer from exposure to radiofrequency fields in childhood and adolescence (MOBI-KIDS)

Kennzeichen
3609S30010

Beginn
01.07.2009

Ende
30.06.2012

Fördermittel
EUR 136.200,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Ludwig-Maximilians-Universität, München

Projektleitung
Prof. Dr. K. Radon

Fachbetreuung BfS
Dr. A. Tschense / AG-SG 1.3

verantwortlich für den Text
T. Weinmann

1. ZIELSETZUNG

Gehirntumoren sind nach den Leukämien die zweithäufigste Krebserkrankung bei Kindern. Bisher besteht jedoch wenig Kenntnis über mögliche Risikofaktoren für die Entstehung dieser Krankheit. In der Diskussion stehen bislang Umweltfaktoren (z. B. Exposition gegenüber Chemikalien, ionisierende Strahlung), Gehirntumoren in der Familiengeschichte oder Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern (z. B. durch die Nutzung von Mobiltelefonen).

Ziel der durch die Europäische Union sowie durch nationale Geldgeber geförderten internationalen Fall-Kontroll-Studie MOBI-KIDS ist es, mögliche Effekte der Nutzung von Kommunikationsgeräten und andere potenzielle Risikofaktoren in der Umwelt auf die Entstehung von Tumoren des zentralen Nervensystems bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen zu untersuchen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Ziel der vorliegenden Erweiterungsstudie ist die Erhöhung der Aussagekraft der MOBI-KIDS-Studie durch folgende Maßnahmen: In Deutschland sollen zum einen bevölkerungsbezogene Kontrollen als Ergänzung zu den krankenhausesbezogenen Kontrollen, die in der EU-Studie verwendet werden, einbezogen werden; zum anderen soll bei einer Teilstichprobe der Studienteilnehmer die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks mit Hilfe von Personendosimetern erfasst werden.

3. METHODIK

Bei der Studie handelt es sich um eine Fall-Kontroll-Studie in insgesamt 13 Ländern, die Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene zwischen 10 - 24 Jahren einschließt. In der Studie wird insgesamt eine Zahl von etwa 1900 Fällen mit bös- und gutartigen Tumoren des zentralen Nervensystems erwartet, in Deutschland wird mit einer Fallzahl von etwa 313 an einem Gehirntumor erkrankten jungen Menschen gerechnet. Insgesamt ist ein Erhebungszeitraum von drei Jahren vorgesehen. Pro Fall werden jeweils zwei Krankenhauskontrollen gesucht. Diese stellen Patienten dar, die auf Grund einer Appendizitis hospitalisiert sind. Da Krankenhauskontrollen möglicherweise keine ausreichende Repräsentativität der Fälle darstellen, werden in Deutschland im Rahmen der vorliegenden Erweiterungsstudie zusätzlich zwei populationsbezogene Kontrollen pro Fall gezogen.

3.1 AUSWAHL DER FÄLLE UND KONTROLLEN

Die Auswahl der Fälle erfolgt in Zentren, die auf die Behandlung von Gehirntumoren spezialisiert sind. Die Kontaktaufnahme wird so gestaltet, dass verschiedene Studienregionen gebildet werden, die einen großen Teil des Bundesgebiets abdecken. Bei den Fällen handelt es sich um Kinder und Jugendliche, die in der jeweiligen Studienregion leben und einen während der Studiendauer diagnostizierten primären Gehirntumor aufweisen. Es soll eine histologische Bestätigung der Fälle mittels chirurgischem Material oder Gewebeentnahme erfolgen. Sofern dies nicht erfolgt, sollen Fälle auf Grundlage von bildgebendem Material miteinbezogen werden. Neben den krankenhausesbezogenen Kontrollen werden in Deutschland populationsbezogene

Kontrollen in die Studie eingeschlossen. Die Kontrollen werden per Zufallsstichprobe über die Einwohnermeldeämter aus den Herkunftsgemeinden der Fälle gezogen. Insgesamt sollen pro Fall zwei populationsbezogene Kontrollen rekrutiert werden. Alle Kontrollen sollen nach Alter, Geschlecht und Wohnort zu den Fällen gematcht werden.

3.2 DOSIMETERMESSUNGEN

Die Exposition der Probanden gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks durch ihr selbst eingeschätztes Nutzungsverhalten abzuschätzen, bringt meist das Problem eines Erinnerungsfehlers (Recall Bias) mit sich. Um einen solchen möglichen Recall Bias besser einschätzen zu können, werden in der Erweiterungsstudie personenbezogene Messungen über 24 Stunden mittels Personendosimetern durchgeführt. Probanden, die im Raum München leben und die an der Fragebogenuntersuchung teilnehmen, werden deshalb befragt, ob sie zusätzlich an der Expositionsmessung teilnehmen möchten.

4. DURCHFÜHRUNG

Der Fragebogen wurde in Zusammenarbeit mit allen Studienzentren im Jahr 2010 fertig gestellt. Er umfasst folgende Kapitel: Nutzung von Kommunikationstechnologien; nieder- und hochfrequente Quellen; Berufsanamnese (ab 16 Jahren) einschließlich der Arbeit unter Strahlenexposition; ionisierende Strahlung; medizinische Anamnese; Allergien; Aufenthalt auf Bauernhöfen, Kontakt mit Haustieren; Krebs in der Familiengeschichte. Ein Elternfragebogen umfasst zusätzlich folgende Kapitel: Allgemeine Angaben; Schwangerschaft mit dem teilnehmenden Kind; Entbindung des Kindes; Berufsanamnese der Eltern.

Des Weiteren wurde die Studie im Jahr 2010 bei verschiedenen möglichen Kooperationspartnern vorgestellt. Dies geschah sowohl in den Kliniken selbst als auch beispielsweise auf der Jahrestagung der Sektion Pädiatrische Neurochirurgie der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie. In den Einrichtungen, die ihre Teilnahme bereits zugesagt haben, werden seit Dezember 2010 Informationsmappen über die Studie hinterlegt. Diese werden von den behandelnden Ärzten an die Patienten, welche die Kriterien zur Teilnahme an der Studie erfüllen, weitergegeben.

Darüber hinaus wurde in München eine Pilotstudie zur Ermittlung der am besten geeigneten Befragungsmethode durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

5.1 PILOTSTUDIE

Vor Beginn der Feldphase wurde in München eine Pilotstudie in Form einer bevölkerungsbezogenen Querschnittsstudie durchgeführt, um die am besten geeignete Befragungsmethode bzw. Unterschiede in den Ergebnissen der verschiedenen Befragungsmethoden zu ermitteln. Gleichzeitig sollte die Reliabilität der Fragebogenangaben überprüft werden. Es wurde das persönliche Interview mit einer telefonischen Befragung und einer Befragung per Online-Interview („Skype“) verglichen.

Die Rekrutierung der Probanden erfolgte über eine vorhandene Zufallsstichprobe des Einwohnermeldeamtes München. Insgesamt nahmen 55 Kinder und Jugendliche im Alter zwischen 12 und 22 Jahren an der Studie teil. Davon wurden 23 Probanden der ersten Gruppe (Skype-Interview vs. persönliches Interview) und 32 Teilnehmer der zweiten Gruppe (Telefon-Interview vs. persönliches Interview) zugeordnet. Acht Skype-Interviews (35%) mussten auf Grund technischer Probleme letztlich doch telefonisch durchgeführt werden, so dass diese Technik letztlich noch nicht überall einsetzbar erscheint. Die persönlichen Interviews waren im Mittel etwas kürzer (24 min \pm 8 min) als die per Skype (25 min \pm 8 min) bzw. per Telefon geführten Interviews (26 min \pm 10 min). Von den insgesamt 55 Kindern und Jugendlichen wollten nur drei Probanden nach dem ersten Interview nicht am zweiten Interview teilnehmen; der Fragebogen wurde insgesamt also sehr gut akzeptiert.

5.2 KOOPERATIONSKLINIKEN

Von 30 angeschriebenen Kliniken liegen Antwortschreiben vor. Davon haben 25 der Kooperation zugestimmt und fünf kein Interesse an einer Teilnahme bekundet. Die Studienregionen mit den jeweils kooperierenden Zentren stellen sich zum jetzigen Zeitpunkt wie folgt dar:

- **Zentrum München:** Klinikum der LMU - Klinikum Großhadern; Klinikum Bogenhausen; Klinikum Schwabing; Klinikum Augsburg; Schön Klinik Vogtareuth
- **Zentrum Baden-Württemberg:** Klinikum Stuttgart; Universitätsklinik Tübingen

- **Zentrum Hessen:** Klinikum der Universität Frankfurt; Dr.-Horst-Schmidt-Kliniken Wiesbaden; Universitätsmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
- **Zentrum Ostdeutschland:** Universitätsklinikum Jena; Universitätsklinik Halle; BG-Kliniken Bergmannstrost Halle
- **Zentrum Nordrhein-Westfalen:** Uniklinik Düsseldorf; Uniklinik Köln; Krankenhaus Köln-Merheim; Universitätsklinikum Aachen; Universitätsklinikum Bonn
- **Zentrum Hamburg:** Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf; Asklepios Klinik Hamburg-Nord; Asklepios Klinik Hamburg-Altona
- **Zentrum Berlin:** Charité (Neurochirurgie); Charité (pädiatrische Neurochirurgie); MEOCLINIC Berlin; Ernst von Bergmann Klinikum Potsdam.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die statistische Auswertung dieser Erweiterungsstudie wird nach Beendigung der Feldphase in der Hauptstudie (MOBI-KIDS) Ende 2013 in Zusammenarbeit mit allen Kooperationspartnern geschehen. Geplant sind neben deskriptiven Auswertungen u. a. logistische Regressionsmodelle zur Berechnung möglicher Zusammenhänge zwischen den erfassten potenziellen Risikofaktoren und Gehirntumoren.

Thema			
Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio Frequency Identification (RFID) Technologien entstehen			
Subject			
<i>Determination of the exposure against electromagnetic fields caused by applications of the radiofrequency identification (RFID) technology</i>			
Kennzeichen 3609S80002	Beginn 22.06.2009	Ende 31.03.2011	Fördermittel EUR 169.100,-
Forschungs- / Auftragnehmer Seibersdorf Labor GmbH, A-2444 Seibersdorf			
Projektleitung G. Schmid	Fachbetreuung BfS D. Geschwentner / AG-SG 1.2		verantwortlich für den Text G. Schmid

1. ZIELSETZUNG

Projektziel ist die Schaffung einer fundierten Datengrundlage bezüglich der Exposition von Personen gegenüber den von unterschiedlichsten RFID Anwendungen einschließlich so genannter Artikelüberwachungssysteme („Electronic Article Surveillance“, EAS) verursachten elektromagnetischen Feldern.

2. EINZELZIELSETZUNG

Hinsichtlich der durch die gegenwärtigen RFID-Anwendungen zu erwartenden Expositionen müssen unterschiedliche Expositionsszenarien unterschieden werden:

- lokale Exposition von Personen durch Felder von RFID-Transpondern;
- lokale Exposition von Personen durch Felder von RFID-Lesegeräten;
- Ganzkörperexposition durch RFID-Lesegeräte.

Zusätzlich sollen Untersuchungen zur Frage möglicher Auswirkungen der von RFID-Geräten emittierten elektromagnetischen Felder auf Körperhilfen (Implantate) erfolgen.

3. METHODIK

3.1 TECHNOLOGIE UND PRODUKTRECHERCHE

Ausführliche Recherchen der gegenwärtigen RFID-Technologie, konkreter Produkte und deren strahlenschutztechnisch relevanter Parameter erfolgten auf Basis einer Markt- bzw. Branchenrecherche unter Zuhilfenahme von Internet und RFID-Fachjournalen. Des Weiteren wurde die bestehende wissenschaftliche Literatur hinsichtlich bereits vorliegender expositionsrelevanter Publikationen im Zusammenhang mit der RFID-Technologie erhoben und zusammengefasst. Typische und Worst Case-Expositionsszenarien mit den unterschiedlichen RFID-Produkten können bzw. konnten durch Analyse von Arbeitsabläufen bzw. durch Lokalaugenschein (vor allem im Bereich der Elektronischen Artikelsicherungssysteme und Zutrittskontrollsysteme) gewonnen werden.

3.2 FELDTÄRKE- BZW. SAR-MESSUNGEN MIT KONKRETEN PRODUKTEN

An ausgewählten Produkten der sich aus der Technologie- und Produktrecherche ergebenden, strahlenschutztechnisch voraussichtlich am meisten relevanten Anwendungen wurden zunächst detaillierte Messungen vorgenommen.

Zur Analyse der Exposition durch aktive Transponder wurden messtechnische Untersuchungen an drei unterschiedlichen Produkten mit Arbeitsfrequenzbereichen 433 MHz, 868 MHz und 2,45 GHz durchgeführt, die zur Validierung der zu erstellenden numerischen Modelle der Transponder für die weitere detaillierte Expositionsanalyse mit anatomischen Körpermodellen dienen (siehe 3.3). Im Hinblick auf die Exposition durch Lesegeräte erfolgten detaillierte Messungen (je nach Frequenz und Anwendungsbereich Feldstärkemessungen

und / oder SAR (spezifische Absorptionsrate)-Messungen am Flachphantom) unter Laborbedingungen mit insgesamt 24 Geräten, wobei alle für RFID relevanten Frequenzbereiche und die meisten gegenwärtig relevanten RFID Anwendungen abgedeckt wurden. Diese Messungen dienen nicht nur zur Validierung der entsprechenden numerischen Quellenmodelle (siehe 3.3), sondern auch zur Bewertung der strahlenschutztechnischen Relevanz der genannten Expositionsszenarien, und damit zur Entscheidung, welche der Szenarien weiterführenden numerischen Untersuchungen (Computersimulationen) mit anatomischen Körpermodellen zugeführt werden. Zusätzlich wurden Messungen der Feldverteilung in unmittelbarer Umgebung von 10 unterschiedlichen Warensicherungssystemen in Kaufhäusern in Deutschland durchgeführt.

Tabelle 1:
Übersicht über die detailliert bzw. unter Laborbedingungen messtechnisch untersuchten Typen von RFID-Lesegeräten

LF (Low frequency)-Proximity Zutrittskontrollsystem (120 kHz)
LF-Vicinity Zutrittskontrollsystem (120 kHz)
RF (Radio frequency)-Proximity Zutrittskontrollsystem (13,56 MHz)
RF-Vicinity Zutrittskontrollsysteme (13,56 MHz), 2 unterschiedliche Systeme
RF-Vicinity Lesegerät für Bibliotheken (13,56 MHz)
Handgehaltenes RF-Proximity Lesegerät (13,56 MHz)
NFC (Near field communication)-Mobiltelefon (13,56 MHz)
Handgehaltenes UHF (Ultra high frequency)-Proximity Lesegerät (868 MHz)
Stationäre UHF- Lesegeräte (868 MHz), 2 unterschiedliche Systeme
Stationäres Mikrowellen-Lesegerät (2,45 GHz)
AM (Akusto-magnetisch)-Artikelsicherungssysteme (58 kHz), 3 unterschiedliche Systeme
RF-Artikelsicherungssysteme (8,2 MHz), 6 unterschiedliche Systeme
UHF- Artikelsicherungssystem (868 MHz)
Deaktivator für AM-EAS-Labels (58 kHz)
Deaktivator für RF-EAS-Labels (8,2 MHz)

3.3 NUMERISCHE BERECHNUNGEN (COMPUTERSIMULATIONEN) MIT ANATOMISCHEN KÖRPERMODELLEN

Vier Transponderszenarien, die sechs relevantesten Szenarien mit lokaler Exposition durch Lesegeräte sowie die zehn relevantesten Ganzkörperexpositionsszenarien mit Lesegeräten wurden auf Basis numerischer FDTD (Finite Difference Time Domain)-Berechnungen mit anatomischen Körpermodellen hinsichtlich der im Körper auftretenden Stromdichten bzw. SAR Werte analysiert und bewertet, wobei bei den Transponderszenarien jeweils zwei unterschiedliche Trageweisen des Transponders, bei den Szenarien mit lokaler Exposition durch Lesegeräte jeweils zwei und bei den Ganzkörperexpositionsszenarien jeweils drei unterschiedliche anatomische Körpermodelle bzw. Expositionssituationen betrachtet wurden.

3.4 BEURTEILUNG MÖGLICHER AUSWIRKUNGEN AUF KÖRPERHILFEN (IMPLANTATE)

Auf Basis der in 3.2 beschriebenen Feldstärkemessungen und dem Vergleich der Messergebnisse mit den in E DIN VDE 0848-3-1 angegebenen Empfehlungen erfolgt zunächst die Identifikation der hinsichtlich möglicher Störbeeinflussungen von Herzschrittmachern und implantierbaren Kardioverter-Defibrillatoren relevantesten Szenarien, die anschließend im Hinblick auf die elektromagnetische Einkopplung in die Elektroden des Implantats mittels numerischer Berechnungen beurteilt werden.

Zusätzlich erfolgen numerische Berechnungen der intrakorporalen dosimetrischen Größen (Stromdichte, SAR) im umliegenden Gewebe von verschiedenen Implantaten. Hierbei sollen sechs verschiedene Implantate und jeweils zwei unterschiedliche externe Feldquellen betrachtet werden. Diese Berechnungen erfolgen jeweils einmal mit und einmal ohne Implantat, um gegebenenfalls mögliche höhere Belastungen von Implantatträgern identifizieren zu können.

3.5 ZUSAMMENFASSENDE STRAHLENSCHUTZTECHNISCH BEWERTUNG ALLER BEFUNDE

Auf Grundlage der in den voranstehenden Arbeitsschritten erhaltenen Befunde erfolgt eine zusammenfassende strahlenschutztechnische Beurteilung der gegenwärtigen RFID Technologie.

4. DURCHFÜHRUNG

Die in Abschnitten 3.1 bis 3.3 beschriebenen Arbeiten wurden abgeschlossen.

5. ERGEBNISSE

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen klar, dass nahe am Körper getragene aktive Transponder der gegenwärtigen RFID-Technologie nur zu sehr geringen Expositionen führen, die um mehrere Größenordnungen unterhalb der gegenwärtig von ICNIRP (International Commission on Non-Ionising Radiation Protection) empfohlenen Limits liegen.

Bezüglich der Exposition durch RFID-Lesegeräte zeigten sowohl die untersuchten Szenarien mit lokaler als auch mit Ganzkörperexposition, dass, vor allem bei Systemen mit magnetischer Kopplung im Frequenzbereich unter 10 MHz (z. B. Deaktivatoren von EAS-Labels und LF-Zutrittskontrollsysteme), teilweise relativ hohe induzierte Stromdichten im Gewebe auftreten können, deren Spitzenwerte in speziellen Expositionssituationen oberhalb der von ICNIRP empfohlenen Limits liegen. Basierend auf den Definitionen der ICNIRP-Guidelines von 1998 ist dies aber strahlenschutztechnisch nur dann relevant, wenn Gewebe des Zentralnervensystems betroffen sind. Auf dieser Grundlage ist die Anzahl der in der Praxis üblicherweise anzutreffenden Situationen mit potenziellen Grenzwertüberschreitungen als eher gering einzustufen. Dies könnte sich jedoch ändern, wenn die im Dezember 2010 veröffentlichten neuen Guidelines von ICNIRP rechtliche Relevanz bekommen, da in ihnen bis 10 MHz Grenzwerte für im Gewebe induzierte elektrische Feldstärken für alle Gewebe definiert sind.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Plangemäß erfolgen die zur Projektfertigstellung noch erforderlichen numerischen Analysen im Hinblick auf Implantatsträger (siehe 3.4) sowie die abschließende strahlenschutztechnische Gesamtbeurteilung.

Thema			
UV-abhängige Vitamin-D-Synthese - Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin-D3-Bedarfes im menschlichen Körper			
Subject			
<i>UV-dependent Vitamin D3 synthesis - balancing of the UV exposure time and production of the optimal need of vitamin D3 in men</i>			
Kennzeichen 3607S04538	Beginn 01.12.2007	Ende 30.04.2011	Fördermittel EUR 273.524,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Technische Universität Dresden, Medizinische Fakultät, Klinik und Poliklinik für Dermatologie			
Projektleitung P. Knuschke	Fachbetreuung BfS Dr. C. Baldermann / AG SG 1.4	verantwortlich für den Text P. Knuschke, Dr. C. Baldermann	

1. ZIELSETZUNG

Die gesundheitsschädigenden Wirkungen von Ultraviolett-Strahlung (UV-Strahlung) in Bezug auf Hautkrebs-erkrankungen (maligne Melanome, Basalzell- und Plattenepithelkarzinome) und Wirkungen auf das Auge (Trübungen der Augenlinse, Entzündungsprozesse) sind seit Jahren nachgewiesen und inzwischen in der Bevölkerung auch weitgehend bekannt. Geringe Sonnenexpositionen sind dagegen gesundheitsfördernd. So wird in der Haut durch den UV-B-Anteil der Sonnenstrahlung der Vitamin-D-Stoffwechsel eingeleitet. Vitamin D reguliert den Kalziumspiegel im Blut und spielt eine essentielle Rolle im Aufbau und Erhalt des Knochengewebes. Darüber hinaus werden heute Vitamin D zahlreiche weitere positive Effekte zugeschrieben.

Auf Grund dieser unterschiedlichen Wirkungen liegen widersprüchliche Empfehlungen in Bezug auf gesundheitsfördernde UV-Bestrahlung vor.

Ziel des Vorhabens ist es, das quantitative sowie qualitative Verhältnis von UV-Exposition (natürliche und künstliche) und Vitamin-D-Level im Körper unter verschiedenen Randbedingungen und in verschiedenen Bevölkerungsgruppen zu bestimmen. Hierauf basierend sollen Empfehlungen zur optimalen UV-Exposition differenziert nach Bevölkerungsgruppen erarbeitet werden, um den Ansprüchen an einen gesundheitsfördernden Strahlenschutz gerecht zu werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Folgende Einzelziele werden in Arbeitspaketen bearbeitet:

2.1 AUSFÜHRLICHE LITERATURSTUDIE

Die Aufgabe bestand darin, aus der Literatur den aktuellen Wissenstand zur Regulation des Vitamin-D-Stoffwechsels (Auf- und Abbau) aufzuarbeiten. Schwerpunkt sollte dabei vor allem auf die regulierenden Prozesse durch Vitamin D3 selbst gelegt werden. Des Weiteren sollte die optimale Vitamin-D-Konzentration für Menschen verschiedener Altersstufen im Jahresverlauf, Methoden zur Bestimmung von 25-Hydroxyvitamin-D-Konzentration (25OHD) im Serum mit Bewertung der Genauigkeit der Methodik, der Gehalt an 7-Dehydrocholesterol (7-DHC) der Haut in Abhängigkeit des Alters, die Veränderungen im 25OHD-Serumspiegel nach UV-Bestrahlung in Abhängigkeit des Körperfetts sowie die Modulation weiterer Parameter wie z. B. des Blutdrucks durch die durch UV-Bestrahlung induzierte Vitamin-D-Synthese recherchiert werden.

2.2 AUSWAHL GEEIGNETER PROBANDEN

Die Auswahl erfolgte unter Berücksichtigung des Geschlechts, des Alters, des Gesundheitszustandes, des Hauttyps (Hauttyp 2 und / oder 3), der Pigmentation der Haut und unter Ausschluss von Faktoren, die die Haut belasten wie Rauchen, Trinken, etc.. Solariengänger wurden nicht in die Studie aufgenommen. Durch hautärztliche Untersuchungen wurde sichergestellt, dass ausschließlich hautgesunde freiwillige Teilnehmer einbezogen wurden, die auch keine Medikamente zu sich nahmen, die phototoxische bzw. photosensibilisierende Reaktionen hätten auslösen können.

2.3 ERSTELLEN VON FRAGEBÖGEN

Fragebögen wurde erstellt, mit deren Hilfe zu Beginn der Expositionsstudien bei den ausgewählten Probanden weitere Aspekte erfasst wurden. Dies waren in erster Linie für das vorangegangene Jahr typische Aufenthaltszeiten im Freien nebst Bekleidungsstatus und Lichtschutzsubstanznutzung, der Urlaubsverlauf, weiterhin Ernährungsgewohnheiten, sowie Körperfettgehalt, ermittelt anhand der Körpergröße und des Gewichts.

2.4 EXPOSITION MIT SOLARER UND KÜNSTLICHER UV-STRAHLUNG

Zur Untersuchung der Wirkung von natürlicher UV-Strahlung auf den Vitamin-D-Status wurden die experimentellen Arbeiten im Frühjahr an sonnigen Tagen vorgenommen. In diesen Tagen führen die definierten, experimentellen UV-Expositionen aus längeren Aufenthalten in der Sonne zu messbarer Vitamin-D-Erhöhung, während der normale Alltagsaufenthalt im Freien an diesen Tagen den erniedrigten Vitamin-D-Status nach dem Winter noch gering erhöht. Zur definierten Untersuchung der Effizienz von UV-Expositionen auf den Vitamin-D-Status erfolgten UV-Applikationen in Geräten mit künstlichen UV-Strahlenquellen. Zum einen kam ein Strahlenquellentyp zum Einsatz, dessen Spektrum im UV-Bereich gut dem der mitteleuropäischen Sommersonne entspricht. Zum anderen sollte vergleichend die Wirksamkeit typischer Solarienstrahler untersucht werden. Beide Strahlenquellentypen emittieren hauptsächlich UV-A-Strahlung, was auch für die erdnahe Sonnenstrahlung zutrifft. Der vorhandene Anteil UV-B-Strahlung ist entscheidend für die Synthese von Provitamin D₃ in der Haut zu Prävitamin D₃ und damit für die Einleitung des Vitamin-D-Stoffwechsel. Bei diesen beiden vergleichend zum Einsatz kommenden künstlichen UV-Strahlenquellentypen unterscheidet sich das Verhältnis von UV-B- zu UV-A-Strahlung. In den Solarienstrahlern ist der UV-B-Anteil geringer als in dem UV-Strahlenquellentyp, der die mitteleuropäische Sommersonne simuliert. In den Untersuchungen wurden die biologisch wirksamen UV-Expositionen variiert, um die Expositionsdauer pro Hauttyp für eine deutlich nachweisbare Vitamin-D₃-Produktion zu ermitteln. Zur Ausarbeitung der Empfehlungen an die Bevölkerung bezüglich einer gesundheitlich unbedenklichen UV-Exposition wurden sowohl bei Expositionen mit natürlicher als auch künstlicher UV-Strahlung entweder einzelne Hautareale (Gesicht und Hände) oder der ganze Körper bestrahlt und der sich daraus ergebende Einfluss auf den Vitamin-D-Status erfasst. Weiterhin wurde die Effizienz der Vitamin-D-Bildung in der Haut von verschiedenen Körperregionen untersucht.

2.5 ERFASSUNG DES VITAMIN-D-STATUS

Zur Erfassung des Vitamin-D-Status unter Alltagsbedingungen wurden über 2 Jahre hinweg Serumproben von den Probanden gesammelt. Dabei wurden gleichzeitig mittels UV-Personendosimeter die individuelle UV-Exposition und mittels Probanden-Tagebüchern das individuelle tägliche Verhalten als die beeinflussenden Größen des Vitamin-D-Status kontinuierlich ermittelt (UV-Personenmonitoring).

Eine weitere Studie diente der Bestimmung des Gehalts an der Ausgangssubstanz der Vitamin-D-Bildung in der Haut - dem 7-Dehydrocholesterol (7-DHC = Provitamin D). Dazu wurden mit Hilfe von Stanzbiopsien Proben unbestrahlter und UV-bestrahlter Haut gewonnen. Es wurde der Gehalt an 7-DHC in der Haut der Probanden und der Einfluss von UV-Expositionen darauf überprüft.

2.6 ABSCHÄTZUNG DES MITTLEREN VITAMIN-D-STATUS VON BEVÖLKERUNGSGRUPPEN AUS „MITTLEREN UV-EXPOSITIONEN DER BEVÖLKERUNG“

Zur Einschätzung des Vitamin-D-Status in der Bevölkerung werden aus Daten zu mittleren individuellen UV-Expositionen von Bevölkerungsgruppen im Jahresverlauf (aus früheren Forschungsprojekten) und den Erkenntnissen zur UV-induzierten Vitamin-D-Produktion aus diesem Forschungsprojekt mittlere Werte zum Vitamin-D-Status in den Bevölkerungsgruppen abgeschätzt und mit verfügbaren Messdaten zum individuellen Vitamin-D-Status abgeglichen.

2.7 AUSARBEITUNG VON DIFFERENZIIERTEN EMPFEHLUNGEN FÜR DIE BEVÖLKERUNG ZU AUFENTHALTSZEITEN IM FREIEN

Basierend auf dem aktuellen Stand des Wissens bezüglich des anzustrebenden individuellen Vitamin-D-Status sowie den Ergebnissen der Probandenstudien dieses Forschungsvorhaben werden alters-, geschlechts- und UV-hauttypabhängige Verhaltensempfehlungen für einzelne Bevölkerungsgruppen erarbeitet.

Es sollte ganzjährig ein optimaler Vitamin-D-Status gewährleistet werden - sowohl im photobiologisch kaum wirksamen Winterhalbjahr als auch über das photobiologisch wirksame Sommerhalbjahr, ohne Gesundheitsgefährdungen durch UV-Überexpositionen.

3. METHODIK

3.1 UV-EXPOSITION UND VITAMIN-D-STATUS

Die solaren UV-Expositionen erfolgten bei 40 Probanden in vier zweiwöchigen Untersuchungszyklen mit je vier Bestrahlungen. Die vier Zyklen unterschieden sich in den Expositionsparametern: Das waren die bestrahlte Hautfläche (Gesicht und Hände bzw. gesamter Körper) und die Höhe der applizierten UV-Dosis (deutlich unterhalb der Sonnenbrandschwellendosis). Die Dosierung erfolgte über ein UV-Breitbandradiometer (Robertson-Berger-Typ). Die biologisch wirksame UV-Exposition jedes untersuchten Probanden wurde mittels UV-Personendosimeter (Polysulfonfilm - PSF) registriert.

Für die Applikation der künstlichen UV-Strahlung wurde ein Phototherapiegerät (a) mit Solarienstrahlern gemäß RTS (Runder Tisch Solarien) Gruppe Ic (geringerer UV-B-Anteil) bzw. (b) mit medizinischen Strahlern bestückt. Letztere Strahler sind im UV-Bereich vergleichbar zur Sonnenstrahlung (UV-B-Anteil größer als in Solarienstrahlern gemäß RTS Gruppe II.). Alle UV-Expositionen wurden mit einem erythem-effektiv messenden Breitbandradiometer kontrolliert am Probanden appliziert. Je Strahlertyp wurden drei sub-erythematöse UV-Dosisstufen untersucht. Für jede UV-Dosisstufe wurde eine Gruppe von 40 freiwilligen Teilnehmern, strukturiert nach Alter, Geschlecht und Hauttyp II oder III einbezogen. Es erfolgten je sechs serielle Bestrahlungen auf Gesicht und Hände sowie zu einem späteren Zeitpunkt sechs Ganzkörperbestrahlungen der Haut.

Von jedem Probanden wurde die persönliche Sonnenbrandschwellendosis für die eingesetzte UV-Strahlenquelle als Bezugsgröße ermittelt. Als mögliche Einflussfaktoren wurden zusätzlich der Hautpigmentierungsgrad (mittels Chromametrie) und die Epidermisdicke (mittels optischer Kohärenztomografie OCT) bestimmt. Im Verlauf der seriellen UV-Expositionen wurde der Vitamin-D-Status über den 25OHD3-Serumspiegel (HPLC (high performance liquid chromatography)-Technik) bestimmt. Der aktive Metabolit 1,25(OH)2D3 wurde vor und nach den UV-Bestrahlungsserien bestimmt, wie auch weitere für den Vitamin-D-Status und Knochenstoffwechsel relevante Parameter (Parathormon, Kalzium, Phosphat, etc.).

Für unterschiedliche Körperregionen wurde die Effizienz der Haut bestimmt, unter UV-Exposition Vitamin-D zu bilden. Gleich große Hautflächen wurden mit derselben UV-Dosis bestrahlt (Gesicht, Brust, Bauch, Rücken, Hände + Unterarme, Oberschenkel, Wade).

Die Untersuchungen zum 7-DHC-Gehalt (Provitamin D) in der Haut erfolgte mittels Analyse von Hautproben (Stanzbiopsien). Die Hautproben aus der Gesäßregion wurden einem unbestrahlten Feld und in drei Dosisstufen sub-erythematös UV-bestrahlten Feldern entnommen. Die Gruppe der einbezogenen 40 freiwilligen Teilnehmer war ebenfalls nach Alter, Geschlecht und Hauttyp II oder III strukturiert worden.

3.2 VITAMIN-D-STATUS IM JAHRESVERLAUF UND INDIVIDUELLES VERHALTEN IM FREIEN

Von 20 Probanden im Alter von 18 - 30 Jahren sowie 20 Probanden im Alter von 40 - 65 Jahren wurden über 2 Jahre die o. g. Parameter zum Vitamin-D-Status erfasst. Das individuelle Verhalten im Freien und die dadurch bewirkten individuellen photobiologischen UV-Expositionen in Beruf, Freizeit und Urlaub wurden mittels kontinuierlichem UV-Personenmonitoring erfasst, um diese Einflussgröße auf den Vitamin-D-Status zu bestimmen. Zur UV-Personendosimetrie kamen Polysulfonfilm-Dosimeter (Dermatologie / TU Dresden) zum Einsatz. Weiterhin wurden in der Datenbank zum UV-Personenmonitoring die Probandentagebücher (bei Aufenthalt im Freien: Zeitdauer, Bekleidungsstatus, Lichtschutzsubstanznutzung; Hobbys; Arbeitsweg) sowie die solare Globalstrahlung und die Wetterparameter als globale Einflussfaktoren abgelegt. Der Vitamin-D-Status wurde Ende Januar, Anfang Mai und Ende September erhoben.

4. DURCHFÜHRUNG

Die ausführliche Literaturstudie wurde 2008 erstellt. Des Weiteren wurden die Probandenfragebögen und die Probandentagebücher erstellt. Für die einzelnen Untersuchungen wurden Probanden rekrutiert und deren Daten in die UV-Personenmonitoring-Datenbank der TU Dresden eingepflegt.

Die Untersuchungen mit solarer UV-Strahlung und simulierter Solarstrahlung wurden 2008 bzw. 2009 experimentell abgeschlossen. Die analogen Untersuchungen bei Probanden des UV-Hauttyps III mit deutlicher Restpigmentierung im Winter wurden 2010 experimentell abgeschlossen. Im gleichen Zeitraum erfolgten auch die Untersuchungen mit Solarienstrahlern. Die Untersuchungen zur Körperverteilung der Vitamin-D-Bildungseffizienz der Haut und zum Gehalt an Provitamin D (7-DHC) in der Haut wurden im Jahr 2009 abgeschlossen.

Das im Mai 2008 begonnene kontinuierliche UV-Personenmonitoring mit den drei Erhebungen des Vitamin-D-Status pro Jahr wurde im Mai 2010 experimentell abgeschlossen.

5. ERGEBNISSE

5.1 LITERATURSTUDIE

Kernaussagen der Literaturstudie bezüglich optimaler Vitamin D3 Versorgung sind:

Vitamin-D ist laut der gesichteten Literatur für den Kalzium- und Knochenstoffwechsel von Bedeutung. Zusätzlich wird Vitamin D heute neben zahlreichen weiteren positiven Effekten (u. a. auf Muskulatur und Herz-Kreislauf-System; protektive Wirkung gegen Autoimmunerkrankungen) inzwischen auch eine krebsprotektive Wirkung zugeschrieben. In der Literatur wird festgestellt, dass bei vielen Menschen die Serumkonzentration von 25OHD3 suboptimal bis unzureichend ist. Eine Studie aus dem Robert-Koch-Institut über den Vitamin-D-Status gesunder, deutscher Erwachsener zeigte, dass die mittleren 25OHD3-Serumwerte für Frauen mit 17,9 ng/ml und für Männer mit 18,1 ng/ml unterhalb des Bereichs lagen, der in der Literatur als Vitamin-D-Insuffizienz eingeordnet wird (20-30 ng/ml). Einige Experten vertreten die Ansicht, dass der Serumspiegel mindestens 30 ng/ml betragen muss, wenn eine optimale Versorgung der Gewebe und Zellen gewährleistet werden soll. Der derzeit gültige Normalbereich liegt zwischen 20 ng/ml und 60 ng/ml und orientiert sich am Knochenstoffwechsel.

5.2 VITAMIN-D-STATUS

Ein erstes Ergebnis stellen die Ausgangswerte für 25OHD3 im Serum dar (jeweils vor Studienbeginn Anfang Januar bis Anfang März erfasst). Die Werte liegen mit $18,4 \pm 8,6$ ng/ml bereits im Mangelbereich, vergleichbar zu den Resultaten des Robert-Koch-Institutes (s. o.). Ausgehend von diesem niedrigen Vitamin-D-Status im Winter bewirken UV-Expositionen von 0,3 MED (30% der persönlichen Sonnenbrandschwelle) und auch von 0,1 MED zweimal wöchentlich über 3 Wochen auf Gesicht und Hände senkrecht eingestrahlt signifikante 25OHD3-Erhöhungen. Bei diesem niedrigen Level bewirkten die sechs seriellen UV-Expositionen einen linearen Anstieg des 25OHD3 im Serum. Mit steigender UV-Dosis und / oder bestrahlter Hautfläche vergrößert sich der Anstieg des 25OHD3.

Bei den UV-Expositionen mit Solarienstrahlern (gemäß RTS Gruppe Ic - vgl. oben) zeigte sich zunehmend mit größerer bestrahlter Hautfläche und steigender erythem-wirksamer UV-Dosis eine Abnahme der 25OHD3-Bildungseffektivität. Ein Effekt, der mit Ergebnissen anderer Arbeitsgruppen, die einen abbauenden Einfluss von UV-A-Strahlenanteile auf das Vitamin D in der Haut zeigen, erklärbar wäre.

Die Annahme, je heller und damit lichtsensibler die Haut ist, desto effektiver bildet sie auch Vitamin D, konnte nicht beobachtet werden. Personen des UV-Hauttyps III, die eine starke Restpigmentierung im Winter aufwiesen, wurden genau wie eine Gruppe Probanden des empfindlicheren Hauttyps II mit 10% der Hauttyp-II-Erythemschwellendosis bestrahlt. Trotz des deutlich höheren Pigmentierungsgrades wiesen die Hauttyp-III-Probanden geringfügig höhere 25OHD3-Anstiege im Serum aus.

Die Effizienz für die UV-induzierte Vitamin-D-Synthese unterscheidet sich in gleichgroßen Hautflächen für unterschiedliche Körperregionen um bis zu 400%. Die Vitamin-D-Effizienzverteilung über den Körper und die Körperverteilung der solaren UV-Exposition müssen für die Bewertung erforderlicher Expositionszeiten für einen optimalen Vitamin-D-Status berücksichtigt werden.

5.3 SOLARE UV-PERSONENDOSEN UND VITAMIN-D-STATUS IM VERLAUF VON 2 JAHREN

Aus den Untersuchungen über 2 Jahre zeichnete sich der Trend ab, dass der 25OHD3-Serumspiegel im Sommerhalbjahr (Messung im Mai und September) bei nahezu allen Probanden im Bereich > 20 ng/ml lag. In welchem Ausmaß meteorologische Faktoren einerseits und individuelles Verhalten andererseits den UV-strahlenbiologisch bedingten Abfall im Winterhalbjahr verstärken bzw. abmildern, könnten Analysen aus 25OHD3-Daten, meteorologischen Daten, Daten der erythem-wirksamen Globalstrahlung und UV-Personendosen ergeben.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die umfangreichen Studien sind experimentell abgeschlossen. Derzeit erfolgen die Datenanalysen und Bewertungen, die in einem Schlussbericht zusammengestellt werden.

Thema			
Untersuchungen zu den Mechanismen für die Wirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf das genetische Material und die Signaltransduktion			
Subject			
<i>Investigations into the mechanisms of effects of low frequency magnetic fields on the genetic material and signal transduction</i>			
Kennzeichen 3607S04556	Beginn 01.09.2007	Ende 31.03.2011	Fördermittel EUR 282.829,-
Forschungs- / Auftragnehmer Institut für Zell-Technologie e. V., Rostock			
Projektleitung Prof. Dr. D. G. Weiss	Fachbetreuung BfS Dr. A. Dehos / AG-SG 1.4		verantwortlich für den Text Prof. Dr. D. G. Weiss

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Projektes ist die weitere Aufklärung der Wirkmechanismen der durch niederfrequente Magnetfelder (50 Hz) mit niedrigen Flussdichten (10-200 µT) ausgelösten biologischen Effekte. Dabei soll der Grundmechanismus, der zur Krebsentstehung führen könnte, besonders berücksichtigt werden. Hierzu dient die sogenannte „Radikal-Theorie“ als Arbeitshypothese. Diese besagt, dass niederfrequente Magnetfelder (NF-MF) die Erhöhung freier Radikale in lebenden Zellen induzieren. Die Frage stellt sich, ob NF-MF die Produktion von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) oder die Hemmung der Antioxidantien induzieren, durch welche Wirkmechanismen diese Prozesse ausgelöst werden und welche Folgen sie haben. Werden genotoxische oder epigenetische Änderungen induziert, die zu maligner Entartung führen können? Weiterhin sollen spezifische, durch oxidativen Stress induzierte oder aktivierte Signalkaskaden auf Proteom- und Genom-Ebene sowie Modulationen der Zellproliferation und der Apoptose in zwei ausgewählten menschlichen Immunzelllinien (den monozytischen Mono Mac 6-Zellen und den erythromyeloblastoiden K562-Zellen) analysiert werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Folgende Einzelziele wurden im Berichtszeitraum bearbeitet:

2.1 UNTERSUCHUNGEN ZUM NACHWEIS DER PRODUKTION FREIER RADIKALE UND ZELLEIGENER ANTIOXIDANTIEN

Die Produktion freier Radikale und die Kinetik und Höhe der intrazellulären Antioxidantien (Superoxid-Dismutase, Glutathion) sollte unter dem Einfluss von NF-MF in unterschiedlichen immunrelevanten Zellen ermittelt werden.

2.2 UNTERSUCHUNGEN ZUR GENEXPRESSION

Der Einfluss von NF-MF auf die Genexpression sollte in unterschiedlichen immunrelevanten Zellen ermittelt werden.

2.3 EVALUIERUNG VON DNA-SCHÄDEN

Die unter dem Einfluss von NF-MF durch oxidativen Stress in unterschiedlichen immunrelevanten Zellen induzierten DNA (Desoxyribonukleinsäure)-Schäden sollten ermittelt werden.

3. METHODIK

Die Bildung von freien Radikalen (Reactive Oxygen Species - ROS) wurde in humanen K562-Zellen nach NF-MF-Exposition und (als Positivkontrollen) nach Behandlung mit 1 µM Phorbol-12-myristat-13-Acetat (PMA), 1 µg/ml Lipopolysaccharid (LPS), 100 µM NaN₃, 0,5% H₂O₂ untersucht. Dabei wurden die Zellen nicht behandelt (Kontrolle oder Sham), bzw. mit NF-MF (200 µT oder 100 µT), mit den verschiedenen Chemikalien alleine und jeweils in Koexposition mit 200 µT NF-MF für 5, 10, 15, 30 oder 45 Minuten exponiert und danach

mit Hilfe der Durchflusszytometrie die Bildung von ROS ermittelt. Um die einzelnen ROS nachzuweisen und zu identifizieren, die nach NF-MF induziert werden, wurden zwei verschiedene ROS-detektierende Farbstoffe verwendet (Rhodamin 123 und 5-(and-6)-carboxy-2',7'-dichlorofluorescein-diacetat (carboxyl-DCFDA)). Die ROS-Bildung wurde nach 45 min NF-MF Exposition bzw. Behandlung mit 1 μ M PMA, 1 μ g/ml LPS und 100 μ M NaN_3 über 3 h mittels Live Cell Imaging gemessen.

Um den zellulären Redox-Status darzustellen, wurde die Kinetik der Superoxid Dismutase (SOD)-Aktivität kolorimetrisch (Elisa Reader) in humanen Mono Mac 6- und K562-Zellen nach NF-MF-Exposition, 1 μ M PMA, 1 μ g/ml LPS und 0,5% H_2O_2 gemessen.

GSH und GSSH (Glutathion) wurde zur weiteren Charakterisierung des zellulären Redox-Status in humanen Mono Mac 6- und K562-Zellen nach NF-MF Exposition, 1 μ M PMA, 1 μ g/ml LPS und 100 μ M NaN_3 kolorimetrisch gemessen. Die Expression von Interleukin 2 (IL2), (Hydroxyindol-O-Methyltransferase (HIOMT), Aralkylamine N-Acetyltransferase (AANAT), Melatonin-Rezeptor 1A und 1B (MTNR1A und MTNR1B) sowie beta-Actin (ACTB) als Haushaltsgen wurde nach 1 h für Sham, Brutschrankkontrolle, 0,5% H_2O_2 und NF-MF Exposition durch RNA (Ribonukleinsäure)-Isolierung, Real time polymerase chain reaction (RT-PCR), quantitative Real Time-PCR (qRT-PCR), Sequenzierung und Gel Elektrophorese in beiden Zelllinien gemessen. Die Mengen und Sequenzen der entstehenden Produkte wurden mittels Gel-Elektrophorese und Sequenzierung verifiziert.

Das Auftreten von durch oxidativen Stress induzierten DNA-Schäden wurde kolorimetrisch (Elisa Reader) mit Hilfe eines DNA Damage HT 8-oxo-dG ELISA Kit und eines 8-OHdG-sensitiven ELISA Kit nach 1 h für die Expositionen Sham, Brutschrankkontrolle, NF-MF und 1% H_2O_2 analysiert.

Die Zellen wurden in allen Experimenten mit 50 Hz NF-MF oder mit den Chemikalien für 5 min bis 1 h exponiert. Parallel wurden jeweils Sham- oder Brutschrankkontrollen mitgeführt. Die NF-MF Exposition wurde laut Projektantrag mit 200 μ T oder 100 μ T Flussdichte durchgeführt. Die erhaltenen Daten wurden mit Sham und / oder Brutschrankkontrolle [E / C (Experiment / Kontrolle)] verglichen und die statistische Analyse wurde mit Hilfe des Student t-Test ($p < 0,05$) und ANOVA (Varianzanalyse) durchgeführt. Alle Untersuchungen wurden in mehreren Parallelansätzen (mind. 3) und in mehreren unabhängigen Versuchen (3 - 6) durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Experimente wurden wie unter Punkt 3 beschrieben durchgeführt. Gegenwärtig erfolgen die Analyse der Proteinlysate, Proteinisolierungen, Proteinbestimmungen und die 2D-Western Blot-Analysen in Gegenwart und Abwesenheit von Inhibitoren und die Evaluierung der Ergebnisse.

5. ERGEBNISSE

Die Untersuchungen zur Dosis-Wirkungs-Beziehung in den K562-Zellen zeigten eine dosisabhängige und vorübergehende Steigerung der ROS-Produktion, da sie nur bei 200 μ T NF-MF Exposition nachweisbar war, und eine Induktion der ROS-Produktion, die nur nach 10 und 15 min NF-MF Exposition, aber nicht zu früheren (5 min) oder späteren (30 und 45 min) Zeitpunkten auftrat. Eine mikroskopisch und durchflusszytometrisch nachweisbare Erhöhung der ROS-Produktion nach NF-MF Exposition konnte nur mittels Rhodamin 123 festgestellt werden, einem Farbstoff, der mit hoher Spezifität Wasserstoffperoxid, das Peroxyl-Radikal und das Peroxynitrit-Anion detektiert, aber nicht mit dem Farbstoff carboxyl-DCFDA. Die verwendeten Positivkontrollen (1 μ M PMA, 1 μ g/ml LPS, 100 μ M NaN_3 , 0,5% H_2O_2) zeigten eine deutliche Erhöhung der ROS-Produktion im Vergleich zu Sham und Brutschrankkontrolle.

Die SOD-Aktivität der K562-Zellen wurde durch Exposition mit 200 μ T NF-MF, 1 μ g/ml LPS oder 1 μ M PMA für 10, 15 oder 45 Minuten nicht verändert. Dagegen zeigte die parallele Behandlung von K562-Zellen mit 0,5% H_2O_2 eine Erhöhung der SOD-Aktivität im Vergleich zu Sham und Brutschrankkontrolle nach allen Expositionszeitpunkten. Die Behandlung von K562-Zellen mit PMA und LPS, die als Positivkontrollen bei der ROS Produktion wirksam sind, zeigte keinen Effekt auf die SOD-Aktivität. Im Gegensatz zu den K562-Zellen wurde in den Mono Mac 6-Zellen durch Exposition mit 200 μ T NF-MF, 1 μ g/ml LPS oder 1 μ M PMA oder NF-MF Koexposition mit PMA oder LPS eine erhöhte SOD-Aktivität nachgewiesen.

Eine Erhöhung des GSH-Gehaltes nach NF-MF Exposition (50 Hz, 200 μ T, 15 min) wurde in den K562-Zellen, aber nicht in den Mono Mac 6-Zellen festgestellt. Von den verwendeten Positivkontrollen zeigten PMA und LPS in den Mono Mac 6-Zellen eine Erhöhung des GSH-Gehaltes im Vergleich zu Sham oder Brutschrankkontrolle, aber eine Senkung des GSH-Gehaltes in K562-Zellen.

Mittels qRT-PCR wurden in beiden Zelllinien nach Sham, Brutschrankkontrolle, NF-MF Exposition (200 μ T), und 1% H₂O₂ Behandlung keine Unterschiede in der Expression von IL2, HIOMT, MTNR1B und ACTB festgestellt. Die Expression von MTNR1A und HIOMT war in beiden Zelllinien bei den untersuchten Zeitpunkten nicht nachweisbar. Die Verifizierung und Analyse der nach Durchführung der qRT-PCR erhaltenen DNA-Fragmente erfolgte anhand ihrer Größe und Sequenz durch horizontale Agarose-Gelelektrophorese und Sequenzierung.

Durch oxidativen Stress induzierte DNA-Schäden wurden nach den Expositionen Sham, Brutschrankkontrolle, 1% H₂O₂ oder 200 μ T NF-MF für 60 Minuten nicht nachgewiesen. Dazu wurde das Auftreten von durch oxidativen Stress induzierten DNA-Schäden sowohl in Mediumüberständen als auch in der DNA von NF-MF exponierten Mono Mac 6- und K562-Zellen untersucht.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass 50 Hz MF mit der Flussdichte 200 μ T in Mono Mac 6-Zellen die Produktion von ROS und eine erhöhte SOD-Aktivität, und in K562-Zellen eine Erniedrigung des Glutathion-Gehaltes hervorrufen, ohne dass DNA-Schäden induziert oder die Expression der untersuchten Gene beeinflusst werden. Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse nach NF-MF Exposition eine erhöhte ROS-Produktion und eine zelltypabhängige Regulation der zelleigenen Antioxidantien, wobei beide Prozesse keine Induktion von DNA-Schäden oder Änderungen der Expression der untersuchten Gene hervorrufen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Der Arbeitsplan wird weiter umgesetzt. Herstellung der Proteinlysate, Proteinisolierung und die 2D-Western Blot-Analysen in Gegenwart und Abwesenheit von Inhibitoren zur Aufklärung der NF-MF-induzierten Signaltransduktion sind Inhalt der laufenden, abschließenden Arbeiten.

Thema			
Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT während der Embryonalentwicklung auf kognitives und emotionales Verhalten bei Mäusen			
Subject			
<i>Effects of repeated exposition with strong static magnetic fields of MRI during embryogenesis on cognitive and emotional behaviour in mice</i>			
Kennzeichen 3609S30014	Beginn 01.09.2009	Ende 31.03.2011	Fördermittel EUR 58.405,-
Forschungs- / Auftragnehmer Zentralinstitut für Seelische Gesundheit Mannheim, Universität Heidelberg			
Projektleitung Prof. Dr. P. Gass	Fachbetreuung BfS PD Dr. B. Pophof / AG-SG 1.1		verantwortlich für den Text Prof. Dr. P. Gass

1. ZIELSETZUNG

Bei trächtigen Mäusen wird untersucht, ob sich eine wiederholte Exposition gegenüber starken statischen Magnetfeldern eines Kernspintomographen während der Embryonalzeit auf emotionales und / oder kognitives Verhalten im Erwachsenenalter auswirkt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Positionierung der Mäuse bei der Exposition entspricht hierbei der bei der Bildgebung bei Patienten oder auch der Exposition des Personals im Rahmen von Patientenuntersuchungen. Die trächtigen Mäuse werden während der gesamten Tragezeit täglich exponiert, um alle Phasen der Embryonalentwicklung in utero abgedeckt zu haben. Die während der Embryonalentwicklung exponierten Mäuse werden als „junge Erwachsene“ (10-16 Wochen) einer standardisierten Batterie von Verhaltenstests für emotionales Verhalten oder für Lernen und Gedächtnis unterzogen.

3. METHODIK

Am Universitätsklinikum Essen werden trächtige weibliche Mäuse des Stamms C57BL/6 gleichen Alters (ca. 3 Monate) im 7-Tesla Magnetresonanztomographen exponiert. Die trächtigen Kontrolltiere werden scheinexponiert, d. h. bis auf die tatsächliche Exposition in einem Magnetfeld sind alle anderen Schritte gleich. Das ist sehr wichtig, da man weiß, dass das sogenannte „Handling“ der Tiere, also Transport, Lärm, Anfassen durch die Tierpfleger etc. Einfluss auf das Verhalten der Tiere nehmen kann, im vorliegenden Fall möglicherweise auf das Brutpflegeverhalten der werdenden Muttertiere. Es werden also 2 Versuchsgruppen gebildet, die jeweils für 75 Minuten täglich während der gesamten Trächtigkeit einer der folgenden Behandlungen unterzogen werden: Scheinexposition oder Exposition bei 7 Tesla. Im Rahmen der hier durchzuführenden Untersuchungen werden die Nachkommen dieser exponierten Mäuse standardisierten Verhaltenstests zum emotionalen Verhalten (ängstliches, depressives Verhalten) und zum Lernverhalten unterzogen. Für jede der beiden Testbatterien soll zunächst eine Kohorte von jeweils 24 bis 32 Versuchstieren eingesetzt werden, jeweils zur Hälfte männliche und weibliche Tiere. Danach werden an weiteren Kohorten diejenigen Befunde reproduziert werden müssen, bei denen die erste Testanalyse einen signifikanten Unterschied zwischen der Scheinbehandlung und der echten Behandlungen ergeben hat.

4. DURCHFÜHRUNG

In der ersten Hälfte des Projekts wurde eine große Kohorte von Mäusen untersucht, die während der Trächtigkeit 7 Tesla exponiert oder scheinexponiert waren. 7 Tesla: 19 Männchen, 13 Weibchen; scheinexponiert: 13 Männchen, 13 Weibchen. Diese Mäuse wurden zunächst nach dem Transport nach Mannheim während der Erholungsphase auf einen umgekehrten Tag-Nacht-Rhythmus (Lichtphase zwischen 19:00 und 7:00 Uhr) umgestellt, um die nachtaktiven Tiere - wie bei Verhaltenstests üblich - während der Aktivphase zu testen. Danach wurden die Tiere zunächst im Hinblick auf allgemeines Verhalten (Lokomotion, Exploration, reguläre Gewichtszunahme) untersucht, anschließend wurden sie einer großen Testbatterie für emotionales Verhalten unterzogen.

5. ERGEBNISSE

Alle Versuchsgruppen (7 Tesla exponiert vs. scheinexponiert, Männchen und Weibchen) zeigten sowohl während der Eingewöhnungsphase wie auch während der Testphase normales Verhalten im vertrauten Käfig, mit normalem Freß- und Trinkverhalten sowie der zu erwartenden Gewichtszunahme. Auch das allgemeine Verhalten in ersten diesbezüglichen Testverfahren brachte keine auffälligen oder gar statistisch signifikanten Unterschiede zwischen behandelten und scheinbehandelten Tieren zu Tage. Im sogenannten „Novel-Cage-Test“ kommen die Versuchstiere in einen neuen Versuchskäfig, wonach ihr Explorationsverhalten (Aufrichten auf die Hinterpfoten) durch Zählen untersucht wird. Im sogenannten Offenfeld-Versuch befinden sich die Versuchstiere in einer 50 x 50 cm großen weißen Arena, wobei das Verhalten der Tiere (Laufen / Ruhen, Laufgeschwindigkeit, Aufenthalt am Rand / in Ecken / im Zentrum) mit einer Kamera aufgezeichnet und anschließend mit einem computergestützten Analyseprogramm untersucht und ausgewertet wird. Nach 10 min im Offenfeld wird ins Zentrum der Arena ein Plastikobjekt gestellt („Novel-Object-Test“) und das Explorationsverhalten der Tiere bezüglich dieses Objektes (Latenz der Annäherung, Zahl der Annäherungen, Zeit am Objekt) gemessen. In all diesen Parametern unterschieden sich 7 Tesla exponierte Tiere nicht von scheinexponierten Tieren. Allerdings fanden sich in beiden Gruppen jeweils - wie zu erwarten - Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Tieren. Weibliche Tiere zeigen nämlich bekanntermaßen zumindest in den durchgeführten Testverfahren ein stärkeres Explorationsverhalten als männliche Mäuse.

Anschließend wurden die Tiere in Testverfahren untersucht, mit denen man Ängstlichkeit und Neigung zu „depressivem Verhalten“ bei Mäusen nachweisen kann. Ängstlichkeit untersucht man in Arenen, die teils geschlossene, dunkle Abschnitte aufweisen, in denen sie sich als Nachttiere wohler fühlen als in anderen, offenen / hellen / exponierten Abschnitten der Testarenen. Diese besuchen sie jedoch auch, weil Mäuse nämlich auch neugierig sind und sich daher zu einem gewissen Ausmaß auch in als „gefährlich“ eingestufte Areale begeben. Dabei bedeutet eine kürzere Zeit bis zum Besuch, eine höhere Zahl der Besuche und eine längere in den „gefährlichen“ Arealen verbrachte Zeit eine geringe Ängstlichkeit der Tiere. In allen gemessenen Parametern des sogenannten „Elevated-O-Maze-Tests“ (ein über der Grundlage erhöhter teilweise offener Kreis) bzw. des „Dark-Light-Box-Tests“ (Käfig mit hellen und dunklen Abschnitten) ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen 7 Tesla exponierten und scheinexponierten Tieren, weder bei den Männchen noch bei den Weibchen.

Danach wurden die Tiere im Paradigma der „erlernten Hilflosigkeit“ (leichte Elektroschocks) beziehungsweise im sogenannten „Porsolt-Test“ (schwimmen) auf depressives Verhalten untersucht. Hierbei wird in leicht unangenehmen Testsituationen zwischen aktivem und passivem Vermeidungsverhalten unterschieden. „Depressive“ Tiere zeigen dabei vermehrt passive Strategien und versuchen nicht aktiv unangenehmen Situationen auszuweichen. Ebenso wie bei den Testverfahren für ängstliches Verhalten wurde auch in den Verhaltenstests für depressives Verhalten kein Unterschied zwischen 7 Tesla exponierten und scheinexponierten Tieren festgestellt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die bisherigen Untersuchungen zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine tägliche Exposition von trächtigen Mäusen während der gesamten Trächtigkeit in einem Magnetfeld mit relativ hoher Feldstärke (7 Tesla) weder bei männlichen noch bei weiblichen Nachkommen im jungen Erwachsenenalter zu generellen Verhaltensauffälligkeiten oder zu nachweisbaren Unterschieden im emotionalen Verhalten (Ängstlichkeit / Depressivität) geführt hat. In einer weiteren großen Versuchskohorte werden derzeit in einem ähnlichen Versuchsansatz die Auswirkungen einer Magnetfeldexposition während der Embryonalentwicklung auf das kognitive Verhalten (Arbeitsgedächtnis, Langzeitgedächtnis etc.) untersucht.

Themenbereich 09 Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm II

Subject area 09 German Mobile Telecommunication Research Programme II

Im Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) (www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de) wurden in systematischen Untersuchungen Wirkungen der verschiedenen Anwendungen nichtionisierender Strahlung auf den Menschen weiter erforscht. Die Untersuchungsvorhaben des DMF lagen schwerpunktmäßig in den Bereichen Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation. Das DMF endete im Jahr 2008. Die Vorhaben in diesem Kapitel sind einzelne Folgeprojekte, die im Rahmen des sogenannten DMF II durchgeführt werden.

The German Mobile Telecommunication Research Programme (DMF) (www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de) continued its research by systematically studying the effects of different uses of non-ionising radiation on man. The main emphasis of these research projects was in the fields of biology, epidemiology, dosimetry and risk communication. The Research Programme ended in 2008. The projects identified in this chapter are individual follow-up projects conducted within the scope of the so-called DMF II.

Thema Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Entwicklungs- und Differenzierungsprozesse des Zentralnervensystems in juvenilen Labornagern			
Subject <i>Age dependent effects of high-frequency electromagnetic fields on the development and differentiation of the CNS of juvenile laboratory rodents</i>			
Kennzeichen	Beginn 01.11.2009	Ende 31.10.2012	Fördermittel EUR 605.280,-
Forschungs- / Auftragnehmer Jacobs University, Bremen			
Projektleitung Prof. Dr. A. Lerchl	Fachbetreuung BfS Dr. Asmuß, AG SG 1.4		verantwortlich für den Text Prof. Dr. A. Lerchl

1. ZIELSETZUNG

Zunehmend werden Mobiltelefone auch von jüngeren Kindern benutzt. Der Frage einer möglichen höheren Empfindlichkeit von Kindern muss daher weiter nachgegangen werden, wobei die Situation des Handynutzers, d. h. vergleichsweise hoher lokaler Energieeintrag im Kopfbereich, im Zentrum stehen soll. In einer tierexperimentellen Studie an juvenilen Labornagern soll der Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Entwicklungsparameter, Kognition und Verhalten untersucht werden. Neoplasien v. a. des Zentralnervensystems sollen erfasst werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 LITERATURSTUDIE

Zu Beginn des Projektes ist eine bewertende Literaturübersicht über die in dieser Studie bearbeitete Thematik vorzulegen.

2.2 EXPOSITION / DOSIMETRIE

Die Exposition der Tiere soll verblindet nach GSM¹⁾-900 Standard im Kopfbereich für 2 Stunden pro Tag über einen Zeitraum möglichst früh postnatal bis mindestens zum Alter von 18 Monaten erfolgen, bei über das Ratengehirn gemittelten SAR²⁾-Werten von 0 (Scheinexposition), 0,4, 2 und 10 W/kg. Für das Projekt muss eine Expositionsanlage entwickelt und aufgebaut werden, in der heranwachsende Tiere möglichst früh postnatal bis zur Vollreife lokal begrenzt im Kopfbereich ohne Erhöhung der Kerntemperatur wiederholt exponiert werden können. Dabei ist die von der Größe der exponierten Tiere abhängige und daher zumindest bis zum Erreichen des adulten Stadiums sich verändernde spezifische Absorptionrate zu berücksichtigen.

2.3 BIOLOGISCHES SYSTEM, ENDPUNKTE

Die Untersuchungen sollen am Tiermodell Ratte durchgeführt werden. Der allgemeine Gesundheitszustand und das Körpergewicht der Tiere sind während des gesamten Expositionszeitraums zu erfassen und zu dokumentieren, ebenso bei den Jungtieren Entwicklungsparameter wie Reflexe, Öffnung der Augen und der äußeren Gehörgänge.

Zur Untersuchung der Wirkungen auf das Zentralnervensystem soll ein Set von Verhaltens- und Kognitionstests verwendet werden, der geeignet ist, Effekte möglichst sensitiv zu erfassen, darunter mindestens ein auf Gedächtnisleistung bezogener Test. Die Tests sollen jeweils einmal im Jugendalter, im Erwachsenenalter und am älteren Tier durchgeführt werden.

¹⁾ Global system mobile communication

²⁾ Spezifische Absorbtiionsrate

Am Ende der Expositionsphase sollen histopathologische Untersuchungen v. a. des relevanten Zielorgans ZNS durchgeführt werden. Auftretende Neoplasien sind nach den international gebräuchlichen Klassifizierungssystemen einzuordnen.

3. METHODIK

3.1 EXPOSITION / DOSIMETRIE

Entwicklung, Aufbau und Bereitstellung der Expositionsanlage, numerische Berechnungen zur Analyse der Feldverteilungen in der Expositionsanlage ohne und mit Tieren, die Evaluierung hinsichtlich der SAR-Verteilung in den Tieren sowie die technische Betreuung des Projekts erfolgt durch den technischen Partner TU Wuppertal. Für die numerische Dosimetrie werden voraussichtlich mindestens vier realistische, MRT (Magnetresonanztomographie)-basierte Computermodelle erstellt, um die verschiedenen Wachstumsphasen der Tiere möglichst realitätsnah abzubilden.

3.2 BIOLOGISCHES SYSTEM, ENDPUNKTE

Die Untersuchungen werden an weiblichen Wistar-Ratten durchgeführt, die Exposition soll am 14. Lebenstag beginnen und über einen Zeitraum von 20 Monaten fortgesetzt werden. Pro Gruppe werden 24 Tiere untersucht, zusätzlich wird eine Käfigkontrolle mitgeführt. Das Testpanel umfasst RotaRod-Treadmill zur Untersuchung der motorischen Koordination und Motivation, den 8-Arm-Maze-Test für räumliche Orientierung und Gedächtnis, den Open-Field-Test für Explorationsverhalten, Motivation und Ängstlichkeit, sowie den Water-Maze-Test für Motivation, Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis. Diese Tests werden in drei Lebensabschnitten der Tiere (juvenil, adult und präsenil) durchgeführt, so dass auch Effekte erfasst werden, die sich erst in späteren Lebensphasen manifestieren.

Routinemäßig werden Gesundheitszustand, Gewicht und bei den jungen Tieren die Ausbildung von Entwicklungsmarkern wie Augen- und Ohröffnung sowie die Ausbildung des „righting reflex“ geprüft, d. h. die Fähigkeit, den Körper schnell so auszurichten, dass das Tier bei einem Fall aus geringer Höhe auf den Füßen landet.

Am Ende der experimentellen Phase werden die Tiere getötet und Gehirn sowie Hypophyse auf Neoplasien histologisch untersucht.

4. DURCHFÜHRUNG

Bisher wurde die Literaturstudie erarbeitet, der Tierversuchsantrag gestellt und genehmigt und mit der Exposition begonnen. Die Expositionsanlage ist vom Kooperationspartner TU Wuppertal konzipiert, aufgebaut und in Betrieb genommen worden. Die Anlage arbeitet bislang problemlos. Die 8 Einzelanlagen mit 6 Plätzen (= 48 Plätze) werden in zwei aufeinander folgenden Schichten während des Tages (also während der Ruhephase der Ratten) mit den Tieren beschickt. Die Verblindung ist gewährleistet. Die Adapter (Restrainter) zum Aufnehmen der Tiere wurden je nach Größe der Tiere angepasst. Derzeit ist die letzte Größe der Adapter im Einsatz. Als hilfreich hat sich erwiesen, dass die Aufnahmeschlitten für die Adapter eine leichte (5°) Neigung nach unten haben, so dass von der Tieren während der Exposition abgegebener Urin ablaufen kann und sich nicht unter den Tieren staut.

Die Ratten hatten vor Verbringung in die Adapter Gelegenheit, sich an diese zu gewöhnen, indem sie ihnen einige Tage vor Beginn der Exposition in die Käfige gelegt wurden. Nach einer Eingewöhnungsphase während der ersten 5 Tage mit aufsteigenden Expositionszeiten wurden sie ab der zweiten Woche für 2 Stunden pro Tag an 5 Tagen pro Woche exponiert. Die Tiere müssen nicht gezwungen werden, in die Adapter zu kriechen, sondern tun dies freiwillig. Während der Exposition liegen sie meistens ruhig darin und schlafen.

Der erste Durchlauf der Verhaltensexperimente wurde durchgeführt. Insgesamt zeigte sich bei den Lernexperimenten (Watermaze und Labyrinth), dass die Tiere im Verlauf der Versuche immer schneller zum Ziel (Watermaze) kamen bzw. immer weniger Fehler (Labyrinth) machten.

5. ERGEBNISSE

Auf Grund der Verblindung können die bislang erhaltenen Verhaltensdaten nicht den Expositionshöhen zugeordnet werden. Die Entwicklung der Körpergewichte war zwischen den Käfigkontrollen und den exponierten bzw. scheinexponierten Tieren im Zeitraum (Lebenstage) 36 bis 91 geringfügig (bis zu 6%) aber signifikant

verschieden. Die Käfigkontrollen waren schwerer. Danach wurden keine signifikanten Unterschiede mehr festgestellt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Exposition wird wie geplant fortgesetzt, und die Verhaltensexperimente werden zu den vorgesehenen Zeiten erneut durchgeführt (2. und 3. Durchlauf). Die möglichen Auswirkungen der Exposition auf die thermische Regulation bzw. lokale thermische Effekte im Kopfbereich werden untersucht. Dazu werden sowohl unmittelbar nach der Exposition von jedem Tier Infrarot-Aufnahmen angefertigt, um die Temperaturen der Haut im Kopfbereich und in einer abdominalen Region zu bestimmen. Weiter werden unmittelbar nach der Exposition die Körpertemperaturen der Tiere bestimmt. Hierzu werden subkutan implantierte Transponder, die zur Identifikation der Tiere benutzt werden, aber auch Temperaturen messen können, ausgelesen. Die Auswertung der Daten erfolgt durch Personen, die mit dem Versuch ansonsten nichts zu tun haben. Die hierzu notwendige Entblindung der Exposition hat also auf die nach wie vor bestehende Verblindung der übrigen, mit dem Versuch befassten Mitarbeiter/innen keinen Einfluss.

Im Jahr 2010 begonnene Forschungsvorhaben

Research projects started in 2010

THEMENBEREICH 01 / NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Thema			
Analyse epigenetischer Effekte (microRNAs) in ehemaligen Wismutbeschäftigten			
Subject			
<i>Analysis of epigenetic effects (microRNAs) in former workers of the SAG/SDAG Wismut</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3610S10001	01.12.2010	31.12.2011	EUR 97.210,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Institut für Arbeitsmedizin und Prävention der DGUV, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA) Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, BG RCI, Bochum			
Projektleitung		Fachbetreuung BfS	
Dr. G. Johnen		Dr. M. Gomolka / AG-SG 1.1	

Mittels systembiologischer Ansätze sollen biologische Veränderungen aufgedeckt werden, die in Zukunft als Biomarker für Strahlenexpositionen eingesetzt werden können.

Im Rahmen des Projektes 4532 wird eine Bioprobenbank von 400 ehemaligen Wismutbeschäftigten angelegt. An Blutproben von 30 Wismutbeschäftigten wird getestet, ob mikro RNA, die Genexpression in Abhängigkeit von exogenen Einflüssen reguliert, in ausreichender Qualität und Quantität isoliert werden kann. Ist dies der Fall, sollen parallel zu den geplanten Bioproben (DNA, RNA, Plasma) in allen 400 Beschäftigten auch mikro RNA-Analysen durchgeführt werden.

Es besteht Forschungsbedarf auf dem Gebiet der strahleninduzierten epigenetischen Veränderungen. Diese Veränderungen können evtl. als strahlenspezifische Marker genutzt werden, die für die retrospektive Dosimetrie genutzt werden können. Auf Grund der Weitergabe dieser Veränderungen an spätere Generationen, muss geklärt werden, inwieweit diese Mechanismen für das Strahlenrisiko berücksichtigt werden müssen.

Thema			
Sonderauswertung zu Wismut			
Subject			
<i>Special analysis of the Wismut study</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3610S10002	01.11.2010	31.10.2011	EUR 120.911,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Bergbau-Berufsgenossenschaft (BBG) - Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung - Institut der Ruhr-Universität Bochum			
Projektleitung		Fachbetreuung BfS	
Dr. G. Johnen		Dr. I. Danescu-Mayer / AG-SG 1.3	

Um das Krebsrisiko, das durch genetische Instabilität, individuelle Strahlenempfindlichkeit und kombinierte Strahlenwirkungen erhöht wird, quantifizieren zu können, sind epidemiologische Studien in Kombination mit neuesten molekulargenetischen Analysen notwendig. Voraussetzung für solche Analysen ist die Isolierung von genetischem Material.

Ziel dieses Vorhabens ist die Isolierung von DNS aus Gewebeproben von Lungenkrebspatienten des ehemaligen Sektionsarchivs der Wismut, welches derzeit vom BGFA in Bochum verwaltet wird. Dieses Kollektiv ehemaliger Uranbergarbeiter ist einzigartig hinsichtlich der Größe des Kollektivs, der Höhe der Exposition und des Vorhandenseins von Informationen zur Exposition gegenüber Strahlung und anderen Noxen. Von daher ist es geeignet, um Fragen zur individuellen Strahlenempfindlichkeit beantworten zu können. Es sollen DNS-Proben von hoch und niedrig strahlenexponierten Lungenkrebspatienten gewonnen werden. Damit wird eine Grundlage für weitere genetische Analysen geschaffen, um die Genvarianten dieses Kollektivs mit den Genvarianten von hoch und niedrig strahlenexponierten, nicht an Lungenkrebs erkrankten ehemaligen Wismutbeschäftigten (St-Sch 4532) vergleichen zu können.

THEMENBEREICH 02 / STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Thema Dosimetrie mit elektronischen Dosimetern in gepulsten Photonen-Strahlungsfeldern / Teil 2			
Subject <i>Individual Monitoring with electronic personal dosemeters in pulsed radiation fields / Part 2</i>			
Kennzeichen 3610S20001	Beginn 25.10.2010	Ende 15.04.2012	Fördermittel EUR 102.299,-
Forschungs- / Auftragnehmer Städtisches Klinikum Braunschweig GmbH			
Projektleitung Dr. M. Borowski	Fachbetreuung BfS A. Rimpler / AG-SG 2.2		

Als Ergebnis bisheriger Forschungsvorhaben wurde festgestellt, dass bestimmte Bauarten elektronischer Dosimeter in gepulsten Strahlungsfeldern mit kurzzeitig hohen Ortsdosisleistung nur bedingt einsetzbar sind. Die Problematik betrifft sowohl Personendosimeter als auch Ortsdosimeter. Es existieren zurzeit keine hierfür geeigneten bauartzugelassenen elektronischen Orts- und Personendosimeter.

Gepulste Photonen-Strahlung wird hauptsächlich im medizinischen Bereich angewendet (human- und tiermedizinische Röntgendiagnostik). Die Verwendung von elektronischen (Personen-)Dosimetern kann hier falsche, d. h. in der Regel zu niedrige Dosiswerte ergeben. Es existiert eine Vielfalt an möglichen Arten und Charakteristika von gepulsten Strahlungsfeldern, die komplexe Anforderungen an Dosimeter stellen. Da zukünftig elektronische Personendosimeter auch als amtliche Dosimeter zur Bestimmung der Körperdosis eingesetzt werden sollen, ist die Bauartprüfung der Dosimeter für gepulste Strahlungsfeldern zu erweitern.

Das Vorhaben wird in zwei Teilen durchgeführt. Ziel des ersten Teilvorhabens war die Ermittlung der Ursachen für unkorrekte Messungen bzw. das Versagen von EPD mit Halbleiterdetektoren in gepulsten Strahlungsfeldern sowie die Bewertung von technischen Möglichkeiten für die Weiterentwicklung zur Verbesserung ihrer Zuverlässigkeit.

Im zweiten Teil des Vorhabens soll eine Analyse der betroffenen Personenkreise, der Expositionsbedingungen und der Feldparameter an den wichtigsten Arbeitsplätzen mit gepulster Strahlung in der Medizin erfolgen. Die Ergebnisse des Vorhabens über häufig vorkommende Einsatzbedingungen sind Voraussetzung zur Ergänzung von Bauartanforderungen und Prüfbedingungen für EPD durch die PTB, um mittelfristig den qualitätsgesicherten Einsatz von EPD unter bestimmten Expositionsbedingungen in gepulsten Feldern zu gewährleisten.

THEMENBEREICH 04 / MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Thema			
Risiko für angeborene Entwicklungsfelddefekte bei Kindern von Mitarbeiterinnen im medizinisch-diagnostischen Bereich, die im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit mit ionisierender Strahlung arbeiten			
Subject			
<i>Risk of congenital malformation amongst children of women in medical/diagnostical professions occupationally exposed to ionising radiation</i>			
Kennzeichen 3610S40004	Beginn 01.03.2011	Ende 31.08.2012	Fördermittel EUR 171.180,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz- Kinderklinik - Klinik Geburtenregister Mainzer Modell			
Projektleitung		Fachbetreuung BfS	
Dr. A. Queißer		Dr. A. Dehos / AG-SG 1.4	

Im Zuge der Kohortenstudie zur Häufigkeit angeborener Fehlbildungen in der Umgebung von Leistungsreaktoren (StSch 4493) hat sich gezeigt, dass Kinder von weiblichem medizinischen Fachpersonal ein erhöhtes Risiko für angeborene Fehlbildungen haben, wenn die Mütter zu Beginn der Schwangerschaft in einem medizinischen Beruf mit potenzieller Strahlenbelastung gearbeitet haben. Der Risikoschätzer (RR) lag bei einer ca. 3fachen Erhöhung, beruht aber auf wenigen Fällen.

Es soll in einer ausreichend großen Kohortenstudie geprüft werden, ob der genannte Befund sich bestätigen lässt. Dabei sind die Expositionsdaten von den Personendosimetern bei der Analyse zu berücksichtigen. Die Fehlbildungsprävalenz bei Kindern von Müttern, die im diagnostisch-medizinischen Bereich potenziell strahlenbelastet sind, wird verglichen mit der Fehlbildungsprävalenz in einer populationsbezogenen Geburtenkohorte. Dies ist die Kohorte, die im Mainzer Geburtenregister (Mainzer Modell) erfasst wird.

In Rheinland-Pfalz gibt es ca. 3.900 Frauen, die im gebärfähigen Alter und im diagnostisch-medizinischen Bereich potenziell strahlenexponiert sind. Diese Frauen werden in eine Kohorte aufgenommen. Es ist mit 130 - 180 Geburten oder Aborten jährlich zu rechnen. Bei Lebendgeburten erfolgt die klinisch/sonographische Untersuchung des Kindes, die Übernahme der Daten aus Mutterpass und gelbem Untersuchungsheft des Kindes, die Beantwortung des Expositionsfragebogens durch die Mutter, eine Erhebung von Angaben zur Anzahl vorausgegangener Schwangerschaften sowie eine Erfassung weiterer Risikofaktoren. Eine Abschätzung zeigt, dass bei 200 Geburten in der Kohorte und knapp 4.000 Geburten in der Vergleichskohorte ein relatives Risiko mit einer Power von 86% nachgewiesen werden kann.

THEMENBEREICH 06 / NOTFALLSCHUTZ

Thema			
Weiterentwicklung des elektronischen Meldeverfahrens im radiologisch relevanten Ereignisfall unter Berücksichtigung der Anforderungen im Rahmen internationaler Meldeverpflichtungen (ECURIE/EMERCON)			
Subject			
<i>Further development of computer-based emergency reporting in the case of an accident at a nuclear installation</i>			
Kennzeichen 3610S60002	Beginn 01.02.2011	Ende 31.10.2012	Fördermittel EUR 119.000,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Bircomp GmbH, CH-5605 Dottikon, Schweiz			
Projektleitung		Fachbetreuung BfS	
R. Bendzko		N. Zander / SW 2.2	

Im Rahmen der Vorhaben StSch 4475 und S 60007 wurde ein Verfahren entwickelt und bereits zum Teil erfolgreich getestet, mit dem die für die internationalen Meldeverpflichtungen wesentlichen Daten elektronisch erzeugt und über die zuständigen Stellen (Betreiber, Landesbehörden) unter technischer Einbeziehung der

BfS-RODOS-Zentrale an das BMU geleitet werden. Dieses soll an den aktuellen Stand der internationalen Anforderungen unter Verwendung des IRIX-Formates angepasst werden.

Weiterhin soll geprüft werden, inwieweit die im Rahmen internationaler Meldverpflichtungen erforderlichen Informationen aus dem Entscheidungshilfesystem RODOS automatisiert verarbeitet werden können (z. B. „Mittelwert und Höchstwert der integrierten Dosis“, „Konzentrationen in Nahrungs- und/oder Futtermitteln“, „Überquert die Freisetzungsfahne die Staatsgrenze?“ usw.) .

Die an die Informationssysteme ECURIE und EMERCON zu übertragenden Daten sollen vor der Übergabe einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden. Dafür soll eine entsprechende Funktionalität bereitgestellt werden.

Die weiterentwickelte Version des elektronischen Meldeverfahrens soll im Rahmen eines Tests unter Einbeziehung von allen Informationslieferanten (Betreiber, Landesbehörden, BMU/ BfS) sowie den Adressaten (EU/ IAEA) erprobt werden.

Thema Generalisierte Konzepte für Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei nuklearen und radiologischen Notfällen			
Subject <i>General concepts for protective actions in the case of nuclear and radiological accidents</i>			
Kennzeichen 3610S60014	Beginn 01.03.2011	Ende 28.02.2013	Fördermittel EUR 233.360,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) m.b.H, Köln			
Projektleitung Dr. M. Sogalla	Fachbetreuung BfS N. Zander / SW 2.2		

Für den anlagenexternen Notfallschutz bestehen auf nationaler und auf internationaler Ebene z.T. umfangreiche Sammlungen von Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Unfällen in kerntechnischen Einrichtungen. Bislang ist für den Bereich denkbarer radiologischer Notfälle (z. B. Transportunfälle, Ereignisse mit terroristischem Hintergrund) kein mit dem kerntechnischen Bereich abgestimmtes Maßnahmenkonzept verfügbar. Mögliche Synergien bei der Notfallvorsorge werden so nicht genutzt. Im Ereignisfall kann die Entscheidungsfindung auf Grund uneinheitlicher Maßnahmenkonzepte und unübersichtlicher Beratungsgrundlagen verzögert werden.

Zur Verbesserung der Nutzbarkeit von bestehenden Unterstützungs- und Informationssystemen für den radiologischen Notfallschutz ist ein Konzept zur Optimierung behördlicher Entscheidungsfindung zu erarbeiten, das das gesamte Spektrum nuklearer und radiologischer Notfälle (u.a. schwere Störfälle in kerntechnischen Anlagen, Transportunfälle mit radioaktiven Quellen, Ereignisse mit terroristischem Hintergrund etc.) abdeckt. Dieses Konzept soll zunächst Kriterien und übersichtliche Prozeduren für behördliche Lagebewertung und Entscheidungsfindung über erforderliche Schutzmaßnahmen anhand des erweiterten Ereignisspektrums enthalten. Die erarbeiteten Vorschläge sollen exemplarisch im elektronisch basierten, durch diese Maßnahmen ergänzten Maßnahmenkatalog getestet werden. Die weitere Anwendung dieses generalisierten Konzeptes auf die vorhandenen Unterstützungssysteme soll geprüft werden.

THEMENBEREICH 07 / VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Thema			
Abschätzung des Krebsrisikos nach akuter Strahlenexposition durch Analysen der Daten für die Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki			
Subject			
<i>Cancer risk estimation after acute exposure to gamma rays by analysis of data for the atomic bomb survivors of Hiroshima and Nagasaki (follow-up)</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3610S04551	01.02.2011	31.10.2012	EUR 182.429,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Oberschleißheim b. München			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS		
Dr. P. Jacob	Dr. B. Grosche / A-SG 1.4		

Die Fortsetzung der im Vorhaben 3607S04451 begonnenen Arbeiten dienen einer Verbesserung der Dosimetrie. Bei der Bestimmung des strahlenbedingten Erkrankungsrisikos zeigt sich immer deutlicher die Notwendigkeit, nicht nur die Unsicherheiten bei der Abschätzung der gesundheitlichen Effekte zu berücksichtigen sondern auch die bei der Expositionsabschätzung. Dies gilt für die Kohorte der Atombombenüberlebenden genauso wie für jede andere Kohorte.

Es kommen zwei Methoden zur Anwendung: Retrospektive Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen in Hiroshima und Nagasaki und Erweiterung der retrospektiven EPR-Dosimetrie an Zähnen von Überlebenden der Atombombenabwürfe.

Kontaktadressen

Fragen nach näheren Informationen über die in diesem Programmreport genannten Projekten können an folgende Stellen gerichtet werden:

Bundesamt für Strahlenschutz

Verwaltungsmäßige Bearbeitung der Ressortforschung und Drittmittel AG-F3

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-F2

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Tel.: (030) 18333-2111 oder -2119

Fax: (030) 1810 333-2111 oder -2119

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-1/90

Warnecke, E.; Odoj, R.; Simon, R. (Editors)

Requirements for Waste Acceptance and Quality Control.

Proceedings of the 2nd International Seminar on Radioactive Waste Products.

28 May - 1 June 1990, Research Centre Jülich, Federal Republic of Germany.

Salzgitter 1990

BfS-SCHR-2/91

Sicherheitsreihe Nr. 6.

IAEO-Empfehlungen für die sichere Beförderung radioaktiver Stoffe. Ausgabe 1985.

(Diese Übersetzung enthält auch die von der IAEO im Nachtrag 1988 zu den Empfehlungen vorgenommenen Ergänzungen).

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-3/91

Schüttmann, W.; Aurand, K.

Die Geschichte der Außenstelle Oberschlema des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Biophysik Frankfurt am Main.

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-4/91

Bornemann, O. (mit einem Beitrag von *R. Fischbeck*)

Zur Geologie des Salzstocks Gorleben nach den Bohrergebnissen.

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-5/92

Herrmann, A.G.

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).

Lösungszuflüsse in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung. Eine Dokumentation.

Zweiter Bericht. Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1991. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-6/92

Bestandsaufnahme IMIS-IT.

Seminar zum Projektstand IMIS am 3. Mai 1991.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-7/92

Empfehlungen der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) 1987 - 1991 (Band 7).

Zusammengestellt von der RSK-Geschäftsstelle.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-8/92

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlußbericht zum ersten Teilprojekt.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-9/93

Grosche, B.; Burkart, W. (Editors)

Radiation epidemiology after the Chernobyl accident.

Proceedings of a workshop held at the Institute for Radiation Hygiene, Federal Office of Radiation Protection, Neuherberg, October 23-25, 1991

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-10/93

von Borstel, L.E.

Lösungen in marinen Evaporiten.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-11/93

Herrmann, A.G.

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).

Lösungsvorkommen in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung.

Eine Dokumentation.

Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1992. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-12/93

IMIS-Statusgespräch.

Seminar zum Projektstand IMIS am 1. Februar 1993.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-13/94

Przyborowski, S.; Röhnsch, W.

ICRP-Publikation 65

über den Schutz gegenüber Radon-222 in Wohnung und an Arbeitsplätzen und die Situation in der Bundesrepublik Deutschland.

Salzgitter, 1994

BfS-SCHR-14/95

Kammerer, L.; Peter, J.; Burkhardt, J.; Trugenberger-Schnabel, A.; Bergler, I.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1992 und 1993. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, Dezember 1995

BfS-SCHR-15/96

Solare terrestrische UV-Strahlung in Deutschland.

Meßergebnisse und strahlenhygienische Bewertung der Daten aus dem UV-Meßnetz des BFS/UBA für den Zeitraum Januar bis Dezember 1994.

Salzgitter, März 1996

BfS-SCHR-16/98

Kammerer, L.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1994 bis 1995. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, März 1998

BfS-SCHR-17/98

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlußbericht zum zweiten Teilprojekt.

Salzgitter, März 1998

BfS-SCHR-18/98

Sonnek, C.

Die Euratom-Grundnormen für den Strahlenschutz 1996 und 1997.

Ausblick auf zukünftiges Strahlenschutzrecht in Deutschland.

Salzgitter, Juli 1998

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-19/99

Strahlenschutz und Sicherheit in der Medizin.

ICRP-Veröffentlichung 73.

Ein Bericht einer Arbeitsgruppe des Komitees 3 der Internationalen Strahlenschutzkommission.

Von der Kommission angenommen im März 1996.

Salzgitter, Mai 1999

BfS-SCHR-20/99

WORKSHOP

Strahlenüberwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhten Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten und Qualitätssicherung der Überwachungsmessungen.

22. bis 24. Juni 1998, Berlin.

Salzgitter, November 1999

BfS-SCHR-21/00

Kammerer, L.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1996 und 1997. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, Oktober 2000

BfS-SCHR-22/01

Ettenhuber, E.; Gehrcke, K.

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlussbericht.

Salzgitter, März 2001

BfS-SCHR-23/01 (ist nicht als Druck erschienen, nur im Internet)

Steinmetz, M.

UV-Index in practical use

Proceedings of an International Workshop

Institute of radiation hygiene, Munich, Germany, December 4-7, 2000

Salzgitter, 2001

BfS-SCHR-24/02

Peter J.; Schneider G.; Bayer A.; Trugenberg-Schnabel A.

High Levels of Natural Radiation and Radon Areas:

Radiation Dose and Health Effects

Proceedings of the 5th International Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas held in Munich, Germany on September 4 to 7 2000

Neuherberg, März 2002

BfS-SCHR-25/02

Brix, J.; Matthes, R.; Schulz, O.; Weiss, W.

Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks.

Bundesamt für Strahlenschutz

21. und 22. Juni 2001

Salzgitter, Juni 2002

BfS-SCHR-26/02

Bruchertseifer, F.; Pohl, H.

Fachgespräch

Begrenzung der Strahlenexposition als Folge von Störfällen bei kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen.

1. und 2. März 2001

Salzgitter, Juni 2002

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-27/03

Trugenberger-Schnabel, A.; Peter J.; Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1998 bis 2001
Daten und Bewertung
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz
Salzgitter, Januar 2003

BfS-SCHR-28/03

Walter, H.
2.Fachgespräch SODAR
19. u. 20. März 2003
Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit
Zusammenfassung der Vorträge
Salzgitter, Juni 2003

BfS-SCHR-29/03

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
- Programmreport 2001 -
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsgemäß begleitete
Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesumweltministeriums
Salzgitter, Juni 2003

BfS-SCHR-30/04

Lennartz, H.-A.; Mussel, Ch.; Thieme, M.
Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Standortauswahl für die Endlagerung radioaktiver Abfälle
Abschlussbericht
Salzgitter, April 2004

BfS-SCHR-31/04

Weiß, D.; Bönigke, G.; Spoden, E.; Warnecke, E.
Übersicht zu stillgelegten kerntechnischen Anlagen in Deutschland und in Europa – Januar 2004
Salzgitter, September 2004

BfS-SCHR-32/04

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2003
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete
Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2004

BfS-SCHR-33/05

Hartmann, M.; Beyer, D.; Dalheimer, A.; Hänisch, K.
Ergebnisse der In-vitro-Ringversuche: S-35 in Urin sowie Am-241 und Pu-Isotope in Urin
Workshop zu den In-vitro-Ringversuchen 2001 und 2002 der Leitstelle Inkorporationsüberwachung
des BfS am 1. Juli 2003 im Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, Kulmbach
Salzgitter, Januar 2005

BfS-SCHR-34/05 (nur als CD vorhanden)

Trugenberger-Schnabel, A.; Peter, J.; Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz
Daten und Bewertung für 2002 und 2003
Salzgitter, Juni 2005

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-35/05 (nur als CD vorhanden)

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2004

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete

Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und

Reaktorsicherheit

Salzgitter, August 2005

BfS-SCHR-36/05 (nur als CD vorhanden)

Steinmetz, M.

200 Jahre solare UV-Strahlung

Geschichte und Perspektiven

Wissenschaftliches Kolloquium

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-37/05

Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-38/05

Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-39/06

Borrmann, F.; Brennecke, P.; Koch, W.; Kugel, K.; Rehs, B.; Steyer, S.; Warnecke, E.

Management of Decommissioning Waste in Germany

Contribution to the IAEA CRP on „Disposal Aspects of Low and Intermediate level Decommissioning

Waste“! (T2.40.06)

Stand: August 2006

Salzgitter, Dezember 2006

BfS-SCHR-40/06

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2005

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrative begleitete

Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und

Reaktorsicherheit

Salzgitter, Dezember 2006

BfS-SCHR-41/07

Schkade, U.-K.; Arnold, D.^{)}; Döring, J.; Hartmann, M.; Wershofen, H.^{*)}*

^{*)} *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Gammaspektrometrische Bestimmung der spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide
in Umweltproben

7. Vergleichsanalyse „Boden 2006“

Leitstelle für Fragen der Radioaktivitätsüberwachung bei erhöhter natürlicher Radioaktivität

Berlin, Dezember 2006

Salzgitter, Januar 2007

BfS-SCHR-42/07

Dushe, C.; Ettenhuber, E.; Gehrcke, K.; Kümmel, M.; Schulz, H.^{)}*

^{*)} *IAF-Radioökologie GmbH Dresden*

Ein neues Verfahren zur Ermittlung der Radonexhalation großer Flächen

Salzgitter, Februar 2007

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-43/07

Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis
Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition; Inkorporationsüberwachung
(§§ 40, 41 und 42 Strahlenschutzverordnung)
Rundschreiben vom 12.01.2007 RS II 3 – 15530/1 (GMBI 2007 S. 623)
Salzgitter, September 2007

BfS-SCHR-44/07

Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.; Trugenberg-Schnabel, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2006
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2007

BfS-SCHR-45/09

urn:nbn:de:0221-2009011200
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2007
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Januar 2009

BfS-SCHR-46/09

urn:nbn:de:0221-2009082120
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2008
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, November 2009

BfS-SCHR-47/09

urn:nbn:de:0221-2009082154
Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007
ICRP-Veröffentlichung 103, verabschiedet im März 2007
Deutsche Ausgabe
Salzgitter, November 2009

BfS-SCHR-48/10

urn:nbn:de:0221-201009153217
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2009
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, November 2010

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-49/11

urn:nbn:de:0221-201111236640

Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2010

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

Salzgitter, November 2011

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 03018 333-0

Telefax: + 49 03018 333-1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz