

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2009

**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-48/10

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokuments immer auf folgende URN:
urn:nbn:de:0221-201009153217

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 2010

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2009

**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	IX
VORBEMERKUNG	IX
EINFÜHRUNG	IX
ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE 2009	X
SUMMARY	XVII
PREFACE	XVII
INTRODUCTION	XVII
SUMMARY OF RESULTS FROM RECENT RESEARCH PROJECTS	XVIII
CONTENT	XXIV

ERGEBNISSE

DER VOM BFS BEGLEITETEN STRAHLENSCHUTZ-FORSCHUNGSVORHABEN DES BMU IM JAHR 2009

THEMENBEREICH 01

NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Vorbereitung der Bundeseinheitlichen Datei Radon in Gebäuden (BuRG) für einen web-basierten Zugriff bzw. Datenaustausch	2
St.Sch. 3608S01002	
Studie der Genetik bei Nachkommen und Geschwistern von Wismut-Mitarbeitern, die vor dem 51. Lebensjahr an Lungenkrebs verstorben sind	4
St.Sch. 3607S04530	
Erarbeitung fachlicher Grundlagen für die Entwicklung zeit- und kosteneffektiver Verfahren zur Bestimmung von Strahlenexpositionen durch Radon in Wohnungen	7
St.Sch. 3607S04534	
Proteomanalyse von Blutproben ehemaliger Wismutbeschäftigter hinsichtlich potenzieller Biomarker für Arsen- und/oder Strahlenexposition mit Hilfe von Proteomics und RNA-Microarray-Technologien	14
St.Sch. 3607S04537	
Erfassung von Daten aus Unterlagen des Gesundheitsdatenarchivs Wismut / GDAW) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) im Rahmen der epidemiologischen Wismut-Studien des BfS	19
St.Sch. 3608S04540	

THEMENBEREICH 02

STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Personendosimetrie mit elektronischen Personendosimetern in gepulsten Strahlungsfeldern	22
St.Sch. 3608S02002	

Berechnungen der internen und externen Strahlenexposition auf Grundlage von Voxel-Modellen	28
St.Sch. 3605S04468	

THEMENBEREICH 03

STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER STRAHLUNG, STRAHLENEMPFLINDLICHKEIT

1st International Radiation Proteomics Workshop	36
St.Sch. 3608S03030	
Veränderte zelluläre „early-response“-Proteine nach ionisierender Bestrahlung - Biomarker für individuelle Strahlenempfindlichkeit	39
St.Sch. 3605S04474	
Ermittlung der individuellen Strahlenempfindlichkeit im Rahmen von Risikoanalysen bei niedrigen Dosen und im Hinblick auf eine optimale therapeutische Strahlenanwendung	45
St.Sch. 3605S04494	
Molekulare Signaturen von kombinierten Schadstoffwirkungen bei Lungenkrebs	51
St.Sch. 3607S04528	
Zelluläre und molekulare Mechanismen direkter und indirekter Organschädigung durch ionisierende Strahlung	58
St.Sch. 3607S04546	

THEMENBEREICH 04

MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Differenzierung von GOÄ- und EBM-Ziffern, die sich auf röntgendiagnostische Maßnahmen verschiedener Körperregionen beziehen („Sammelpositionen“), im ambulanten Bereich	68
St.Sch. 3607S04496	

THEMENBEREICH 05

RADIOÖKOLOGIE

Klärung technischer und rechtlicher Fragestellungen bei der Beseitigung radioaktiv kontaminierter Abfälle landwirtschaftlicher Produkte nach Ereignissen mit nicht unerheblichen radiologischen Konsequenzen	74
St.Sch. 3608S04572	

THEMENBEREICH 06

NOTFALLSCHUTZ

Katalog von Übungsszenarien und eine Übungsdokumentation für behördliche Notfallschutzorganisationen	80
St.Sch. 3607S04558	

THEMENBEREICH 07

VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Workshop: „Frauen in der Strahlenforschung - ein Jahrhundert nach Marie Curie“	86
St.Sch. 3609I02201	
Epidemiologische Qualitätsprüfung zum Vorhaben St.Sch. 4493 (Epidemiologische Studie zu angeborenen Fehlbildungen in der Umgebung deutscher Leistungsreaktoren)	89
St.Sch. 3608S03021	
Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Einrichtungen und Anlagen nach AtG, StrlSchV und RöV unter dem Gesichtspunkt der Optimierung	91
St.Sch. 3607S04513	

Erarbeitung von praktischen Vorgaben zur Probennahme und Probenaufbereitung von überwachungsbedürftigen Rückständen gemäß Strahlenschutzverordnung - StrlSchV, Anlage XII (zu §§ 97 bis 102), und von Baustoffen	97
St.Sch. 3608S04573	

THEMENBEREICH 08

NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Bestimmung und Vergleich der von Erdkabeln und Hochspannungsleitungen verursachten Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern	106
St.Sch. S3608S03011	
Risikowahrnehmung und Risikokommunikation im Bereich der Niederfrequenten Felder	112
St.Sch. 3608S03015	
Untersuchungen zur Bedeutung unterschiedlicher Parameter der UV-Exposition und der individuellen Risikofaktoren bei der Entstehung von Hautkrebs	119
St.Sch. 3606S04506	
Bestimmung der Exposition durch Magnetfelder alternativer Antriebskonzepte	125
St.Sch. 3608S04574	
Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks 2009	132
St.Sch. 3609S80001	

STATUSBERICHTE

DER VOM BFS BEGLEITETEN STRAHLENSCHUTZ-FORSCHUNGSVORHABEN DES BMU

THEMENBEREICH 01

NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Recherche zu Art, Aufkommen und Eigenschaften von NORM-Rückständen im Ausland, Abschätzung der Strahlenexposition der Bevölkerung bei der Deponierung bzw. Verwertung	138
St.Sch. 3608S01001	
Drittes Mortalitäts-Follow-Up der Kohorte von ca. 64.000 ehemaligen Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2008	141
St.Sch. 3608S01005	
Aufbau einer Bioproben-Bank von ehemaligen Beschäftigten der SAG / SDAG Wismut - Pilotstudie	143
St.Sch. 3608S04532	
Strahlenbedingtes Tumorrisiko beim Flugpersonal - Durchführung und Analyse eines zweiten Follow-up	145
St.Sch. 3607S04548	
Untersuchungen der Ortsdosisleistung in Flugzeugen unter Berücksichtigung des Sonnenzyklus, der Lageveränderung der magnetischen Pole und der Auswirkung von solaren Ereignissen zur Qualitätssicherung der Dosismessung für das fliegende Personal	148
St.Sch. 3608S10003	
Untersuchungen zu singulären Radonfreisetzungen aus bergbaulichen Hinterlassenschaften und ihre Auswirkungen auf die Radonkonzentration im Freien	150
St.Sch. 3609S10005	
Fortführung und technische Betreuung der Internetplattform zum europäischen Netzwerk für natürlicherweise auftretende radioaktive Materialien (NORM) Datenbank	153
St.Sch. 3609S10006	

THEMENBEREICH 02 STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Verbesserung der Inhalationsdosimetrie bei Exposition mit radioaktiv kontaminierten Aerosolen	158
St.Sch. 3608S04544	
Retrospektive Dosimetrie in Notfallsituationen für die Bevölkerung	161
St.Sch. 3607S04560	
Erstellung von hybriden Voxelmodellen zur Optimierung von Bildqualität und Dosis in der Radiographie	164
St.Sch. 3609S40002	

THEMENBEREICH 03 STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER STRAHLUNG, STRAHLENEMPFLINDLICHKEIT

Beschreibung der Schadensmechanismen durch Auger-Emitter auf zellulärer Ebene und Entwicklung von neuen Strahlenschutzkonzepten unter Berücksichtigung der Abhängigkeit des Strahlenrisikos von der Dosisleistung	168
St.Sch. 3608S03002	
Nachweis von strahleninduzierten Genveränderungen in Brusttumoren für eine verbesserte Abschätzung des durch ionisierende Strahlung verursachten Brustkrebsrisikos	173
St.Sch. 3608S03004	
Funktionelle Analyse molekularer Mechanismen der strahleninduzierten Apoptose, die nicht über direkte DNA-Schäden vermittelt werden	176
St.Sch. 3607S04531	

THEMENBEREICH 04 MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Medizinphysikalische Optimierung und Risikobewertung diagnostischer und therapeutischer Strahlenanwendungen	180
St.Sch. 3608S04001	
Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren	183
St.Sch. 3608S04003	
Entwicklung und Implementierung von Methoden zur Dosis-Reduktion im Bereich der digitalen Röntgen-Mammographie sowie klinische Evaluation dieser Methoden mittels ROC-Studien	185
St.Sch. 3608S04489	
Klinische und strahlenhygienische Evaluation der neuen Schnittbildverfahren CT, MRT und PET - im Vergleich zur Koronarangiographie - hinsichtlich der Diagnostik der Frühformen sowie der klinisch manifesten Stadien der koronaren Herzkrankheit (KHK)	188
St.Sch. 3607S04543	
Erstellung von nationalen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie	190
St.Sch. 3608S04575	
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	194
St.Sch. 3608S20001	
Ermittlung der effektiven Dosis bei DVT-Geräten im Verhältnis zu einer Messgröße	197
St.Sch. 3609S40003	

THEMENBEREICH 05 RADIOÖKOLOGIE

Bundesweiter Überblick über die Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen	200
St.Sch. 3607S04561	
Untersuchungen zur Auslaugbarkeit langlebiger Radionuklide aus Bauschutt	203
St.Sch. 3608S04571	
Erweiterung und Validierung von ARTM für den Einsatz als Ausbreitungsmodell in AVV und SBG	206
St.Sch. 3608S05005	

THEMENBEREICH 06 NOTFALLSCHUTZ

Aus- und Weiterbildung von Ärzten im Strahlenunfallmanagement	212
St.Sch. 3607S04541	
Quelltermprognosen als Eingabedaten für das Entscheidungshilfesystem RODOS bei Ereignissen im Nichtleistungsbetrieb	215
St.Sch. 3608S04568	
Bewertung der radiologischen Relevanz der sich am Standort eines KKW befindenden Inventare (außer Kerninventar) als Input für das Entscheidungshilfesystem RODOS	218
St.Sch. 3608S06006	
Erstellung eines Handbuches zum behördlichen Krisenmanagement bei einem Ereignis in einer kerntechnischen Anlage - elektronische Datengenerierung und Übertragung im Rahmen der ECURIE- und EMERCON-Meldeverpflichtungen	221
St.Sch. 3608S06007	
Entwicklung eines Raumtemperatur-Halbleiterdetektors auf Cadmium-Zink-Tellurid (CZT)-Basis für den Einsatz im ODL-Messnetz des BfS	224
St.Sch. 3608S06008	
Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS für Ereignisse im Leistungsbetrieb	228
St.Sch. 3609S60009	
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	231
St.Sch. 3609S70005	

THEMENBEREICH 07 VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Abschätzung des Krebsrisikos nach akuten Gammastrahlenexpositionen durch Analysen der Daten für die Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki	234
St.Sch. 3607S04551	
Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschusses Materialprüfung (NMP)	237
St.Sch. 3608S07005	
Gesundheitsökonomische Betrachtung zu Radonsanierungsmaßnahmen	240
St.Sch. 3609S10007	
Untersuchung umweltbedingter genetischer Veränderungen im Zusammenhang mit der Entstehung von Leukämien im Kindesalter	243
St.Sch. 3609S30013	

THEMENBEREICH 08

NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Auswirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf die Entstehung und den Verlauf von neurodegenerativen Erkrankungen im experimentellen Modell St.Sch. 3608S03008	246
Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Probanden St.Sch. 3608S03009	248
Bestimmung der individuellen UV-Exposition in Abhängigkeit von Lebensstil und aktuellem UV-Index ... St.Sch. 3608S03012	251
Laiengerechte Kommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten im Bereich EMF St.Sch. 3608S03016	255
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf menschliche Fibroblasten (Gentoxizität) St.Sch. 360704504	258
Weiterentwicklung der EMF-Literaturdatenbank St.Sch. 3607S04527	261
Gentoxische Effekte von Terahertz-Strahlung in vitro St.Sch. 3607S04533	264
UV-abhängige Vitamin-D-Synthese - Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin-D3-Bedarfes im menschlichen Körper St.Sch. 3607S04538	267
Untersuchungen zu den Mechanismen für die Wirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf das genetische Material und die Signaltransduktion St.Sch. 3607S04556	271
Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT auf die Endpunkte Fortpflanzung und Entwicklung im Tiermodell St.Sch. 3608S04557	273
Einfluss niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf das sich entwickelnde blutbildende System, das Immunsystem und das ZNS in vivo St.Sch. 3608S30006	276
Erweiterungsstudie zu multinationaler Fall-Kontroll-Studie zu Hirntumoren durch Radiofrequenzstrahlung bei Kindern und Erwachsenen (MOBI-KIDS) St.Sch. 3609S30010	279
Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio Frequency Identification (RFID)-Technologien entstehen St.Sch. 3609S80002	281
Systematische Erfassung aller Quellen nichtionisierender Strahlung, die einen relevanten Beitrag zur Exposition der Bevölkerung liefern können St.Sch. 3609S80004	284
Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Entwicklungs- und Differenzierungsprozesse des Zentralnervensystems in juvenilen Labornagern	286

IM JAHR 2009 BEGONNENE FORSCHUNGSVORHABEN	289
Konzepte zur Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm St.Sch. 3609S40004	290
Quantitative Abschätzung des Strahlenrisikos unter Beachtung individueller Expositionsszenarien - Neufassung der Strahlenepidemiologischen Tabellen	290
St.Sch. 3607S04570	
Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG, standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle und nichtkerntechnischen Einrichtungen nach StrlSchV und RöV	290
St.Sch. 3609S20001	
Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT während der Embryonalentwicklung auf kognitives und emotionales Verhalten bei Mäusen	291
St.Sch. 3609S30014	
Kontaktadressen	293

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 des BMU 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-Ressortforschungsprogramms im Jahr 2009.

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). Diese Aufgabe sowie insbesondere die Erarbeitung von Strahlenschutzvorschriften und die Fach- und Rechtsaufsicht des Bundes über den Vollzug des Atom- und Strahlenschutzrechts durch die Länder und über das BfS 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 dem BMU zugewiesenen Fachaufgaben müssen Untersuchungsvorhaben zu einem weitgespannten Themenspektrum durchgeführt werden (Ressortforschung).

EINFÜHRUNG

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

Eine vordringliche Aufgabe des BMU 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 das BMU frühzeitig mit geeigneten Maßnahmen einer Gefährdung von Mensch und Umwelt entgegenwirken 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 soweit auch unterhalb der Strahlenschutzgrenzwerte zu senken, wie das mit vernünftigem Aufwand möglich ist (Optimierungsgebot). Beide Grundsätze sind in der Strahlenschutzverordnung verankert. Ihre Einhaltung wird vom BMU im Rahmen der Zweckmäßigkeitsaufsicht 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 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.

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.

ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE 2009

Im Folgenden wird über die Ergebnisse ausgewählter, in 2009 abgeschlossener Forschungsvorhaben berichtet:

THEMENBEREICH 01 - NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Im Vorhaben „**Vorbereitung der Bundeseinheitlichen Datei Radon in Gebäuden (BuRG) für einen web-basierten Zugriff bzw. Datenaustausch (3608S01002)**“ wurden die technischen Rahmenbedingungen für einen zukünftigen web-basierten Zugriff sowie die lokale Nutzung des GIS-Teils festgelegt und ein Rechtevergabesystem entwickelt und umgesetzt. Die notwendigen Programmierarbeiten wurden durchgeführt. Zurzeit laufen die abschließenden Funktionstests durch das BfS.

Ziel des Vorhabens „**Studie der Genetik bei Nachkommen und Geschwistern von Wismut-Mitarbeitern, die vor dem 51. Lebensjahr an Lungenkrebs verstorben sind (3607S04530)**“ war es, den Genotyp von Wismut-Mitarbeitern, die vor dem 51-ten Lebensjahr an Lungenkrebs erkrankten, aus ihren Nachkommen und anderen Verwandten zu rekonstruieren, um die individuelle Strahlenempfindlichkeit des Erkrankten zu untersuchen und eine Bioprobenbank der Studienteilnehmer zu erstellen. Ein Fragebogen wurde erstellt und dieser an 450 recherchierbaren Adressen von insgesamt 475 Nachkommen geschickt. Nur von 87 Teilnehmern gingen Einverständnis, Fragebogen und vom Hausarzt abgenommene Blutproben ein. Aus den Blutproben wurden primäre Lymphozyten, Serum und DNA gewonnen. Die Daten aus den Fragebögen wurden in eine für dieses Projekt angelegte Datenbank eingetragen. Um die ursprüngliche Fragestellung zu beantworten, wären laut Powerberechnung mindestens 150 Teilnehmer nötig gewesen. Auf Grund der mangelhaften Response von nur 87 Teilnehmern musste das Projekt jedoch abgebrochen werden. Die erhobenen Daten und Biomaterialien sind dem BfS übergeben worden und können für neu zu definierende Projekte genutzt werden.

Im Rahmen des Vorhabens „**Erarbeitung fachlicher Grundlagen für die Entwicklung zeit- und kosteneffektiver Verfahren zur Bestimmung von Strahlenexpositionen durch Radon in Wohnungen (3607S04534)**“ wurde dargelegt, wie der Radonquellterm eines Hauses zusammen mit den Ergebnissen von Luftwechsellmessungen bestimmt bzw. modelliert werden kann und welche Prognosen daraus für ein mögliches Radonrisiko abgeleitet werden können. Die Auswertung von Lang- (mehrere Monate) und Kurzzeitmessungen (1 - 2 Wochen, zeitaufgelöst) zeigte, dass passive 2-Phasenmessungen (z. B. Tag/Nacht) in Wohn-

räumen sehr kostengünstig sind und eine Bewertung des Radonrisikos bzw. der individuellen Exposition der Hausbewohner unter Berücksichtigung der Hausnutzung auf einer guten Grundlage ermöglichen.

Die im Vorhaben „**Proteomanalyse von Blutproben ehemaliger Wismutbeschäftigter hinsichtlich potenzieller Biomarker für Arsen- und/oder Strahlenexposition mit Hilfe von Proteomics und RNA-Microarray-Technologien (3607S04537)**“ generierten Daten geben einen Hinweis auf den Einfluss von Arsen- und Strahlenbelastung auf das Proteommuster der peripheren mononucleären Blutzellen und bestätigen somit bereits publizierte Befunde. Für die Suche nach Biomarkern bilden die Daten eine hervorragende Grundlage für weiterführende Studien. Die Ergebnisse der mRNA-Analyse deuten darauf hin, dass immunbezogene Prozesse in den belasteten Personengruppen B, C und D im Vergleich zur Kontrollgruppe A herunterreguliert sind. In Gruppe C sind B-Zell-Marker hochreguliert. Der Vergleich von Proteom- und mRNA-Expressionsdaten zeigt keinen Overlap.

Im Rahmen des Vorhabens „**Erfassung von Daten aus Unterlagen des Gesundheitsdatenarchivs Wismut/GDAW) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) im Rahmen der epidemiologischen Wismut-Studien des BfS (3608S04540)**“ führte die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) für das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) im Gesundheitsdatenarchiv Wismut (GDAW) Recherchen zu Todesursachen und neuen Adressen für die vom BfS durchgeführte Wismut-Kohortenstudie durch. Für knapp 60% der 1.031 recherchierten Personen konnten neue Informationen gefunden werden, darunter 153 Todesursachen und 138 Personen, für die der Vitalstatus ermittelt werden konnte. Mit diesen neu gewonnenen Daten kann der Loss to follow-up der Kohortenstudie weiter gesenkt und damit die Aussagekraft der Studie erhöht werden.

THEMENBEREICH 02 - STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Im Vorhaben „**Personendosimetrie mit elektronischen Personendosimetern in gepulsten Strahlungsfeldern (3608S02002)**“ wurde die Einsatzfähigkeit von elektronischen Personendosimetern (EPD) mit Silicium-Halbleiterdetektoren in gepulsten Strahlungsfeldern untersucht. Diese weisen als zählende Detektoren eine Totzeit auf. Während dieser Zeit auftretende Messsignale können nicht korrekt erfasst werden. Der dadurch entstehende Totzeitverlust steigt mit zunehmender Dosisleistung an. Besonders stark ist dieser Effekt in gepulsten Strahlungsfeldern, in denen bei gleicher mittlerer Dosisleistung die Spitzenwerte um mehrere Größenordnungen höher liegen können. Im Falle rechteckiger Pulsform kann der Totzeitverlust bei gegebener Dosisleistung explizit über einen neuen empirischen Zusammenhang ermittelt werden. Für die Bewertung in beliebigen Pulsformen wurde ein Monte-Carlo-Programm entwickelt. Mit diesen Methoden kann für ein Dosimeter mit bekannten Parametern Totzeit und Kalibrierungsfaktor der Einsatzbereich in beliebigen gepulsten Strahlungsfeldern bestimmt werden. Mit den vorgestellten Methoden konnte abgesichert werden, dass typische EPD im Störstrahlenfeld von medizinischen gepulsten Strahlungsquellen uneingeschränkt einsetzbar sind.

Ziel des Vorhabens „**Berechnungen der internen und externen Strahlenexposition auf Grundlage von Voxel-Modellen (3605S04468)**“ war es, Organdosiswerte für Kinder bei Bodenstrahlung und Strahlung aus der Wolke zu berechnen und mit entsprechenden Werten für Erwachsene zu vergleichen. Ferner wurden Organdosen für typische CT-Untersuchungen für Voxel-Phantome, die Patienten unterschiedlichen Alters, unterschiedlicher Statur und beiderlei Geschlechts repräsentieren, berechnet. Es wurde ein Voxel-Modell einer schwangeren Frau in der 24. Schwangerschaftswoche erstellt, in dem auch größere Organe des Fötus separat segmentiert wurden. Mit diesem Modell wurden Dosisberechnungen für interne (spezifische absorbierte Bruchteile) sowie unterschiedliche externe Expositionsszenarien (idealisierte Geometrien, Geometrien für Umgebungsstrahlung sowie häufige Röntgenuntersuchungen) durchgeführt.

THEMENBEREICH 03 - STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER STRAHLUNG, STRAHLENEMPFFINDLICHKEIT

Im Rahmen des Vorhabens „**1st International Radiation Proteomics-Workshops (3608S03030)**“ diskutierten Strahlenbiologen und Proteomics-Spezialisten am 27. und 28. Mai 2009 neue Methoden, Herausforderungen sowie den aktuellen Stand der Strahlen-Proteomforschung. Ausgangspunkt war dabei die Fragestellung, welche Auswirkung ionisierende Strahlung auf Zellen hat. Im Vergleich zu der hoch dosierten Strahlung ist das Gesundheitsrisiko der niedrigen Dosen wenig erforscht - entscheidende Antworten stehen noch aus. Epidemiologische Studien deuten darauf hin, dass schon wesentlich geringere Dosen als bisher angenommen schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben können. Davon ausgehend steht der Ansatz, das gesamte Proteom zu untersuchen, immer mehr im Mittelpunkt der strahlenbiologischen Forschung. Neue Informationen über die biochemischen Mechanismen werden in Zukunft Hochdurchsatz-Verfahren der Proteomforschung liefern. Diese erlauben es, Einblick in die Physiologie der durch Strahlung geschädigten Zelle zu nehmen. An der Organisation des Workshops waren neben dem Helmholtz Zentrum München die STUK - Radiation and Nuclear Safety Authority, Finnland, und das BfS - Bundesamt für Strahlenschutz beteiligt. Ein weiteres Treffen ist in zwei Jahren geplant.

Im Rahmen des Vorhabens „**Veränderte zelluläre 'early-response'-Proteine nach ionisierender Bestrahlung - Biomarker für individuelle Strahlenempfindlichkeit (3605S04474)**“ wurde mittels 2D-Proteinanalyse die differentielle Proteinexpression in primären Lymphozyten und daraus generierten lymphoblastoiden Zelllinien analysiert, deren Reaktion auf ionisierende Strahlung als normal sensitiv, radioresistent oder radiosensitiv beschrieben wurde. Sowohl im Vergleich radiosensitiver mit radioresistenten primären Lymphozyten als auch im Vergleich von normal sensitiven mit radiosensitiven oder radioresistenten lymphoblastoiden Zelllinien wurden markante Unterschiede hinsichtlich der spezifischen Expression von Proteinen, die als Markerproteine für Radioresistenz bzw. Radiosensitivität gelten können, erkannt. In primären Lymphozyten könnte die stark reduzierte basale Expression der Proteine CLIC1, Glutaredoxin-1, ENO1 und WNT7A als potenzieller Marker für Radiosensitivität dienen. Dagegen unterschieden sich die in lymphoblastoiden Zelllinien gefundenen Marker deutlich, obwohl bei beiden Zelltypen verschiedene Proteinspotareale eine sehr ähnliche Clusterung aufwiesen. So konnte für lymphoblastoide Zellen und die Tumorzelllinie A549 das Protein Mortalin sowie das Protein GST omega 1 als Marker der Radioresistenz definiert, bzw. die reduzierte Expression dieser Proteine als charakteristisch für radiosensitive lymphoblastoide Zellen erkannt werden. In den primären radioresistenten Lymphozyten konnte aber ein entsprechender Spot des Proteins Mortalin nicht lokalisiert bzw. nicht identifiziert werden. Anhand des Proteinspotmusters lässt sich aber erkennen, dass das Protein GST omega 1 auch in primären Lymphoblasten eine stark reduzierte Expression aufweist. Da dieses Protein wie das in primären Lymphozyten als stark reduziert gefundene Glutaredoxin-1 in den Detoxifikationsmechanismen für freie Radikale eingebunden ist, kann mit großer Wahrscheinlichkeit geschlossen werden, dass die reduzierte Expression dieser Proteine ein Kennzeichen für eine erhöhte zelluläre Radiosensitivität sein kann.

Die Durchführung des Vorhabens **Ermittlung der individuellen Strahlenempfindlichkeit im Rahmen von Risikoanalysen bei niedrigen Dosen und im Hinblick auf eine optimale therapeutische Strahlenanwendung (3605S04494)** umfasste drei Bereiche: Für den Bereich der experimentellen Strahlentherapie wurde ein Forschungsprogramm in Zusammenarbeit mit dem Institut für Strahlentherapie der TU München und dem Institut für Strahlentherapie der LMU konzipiert, das die Untersuchung der regulatorischen Effekte von micro-Ribonucleinsäure (miRNA)-Molekülen auf den Verlauf der Strahlenantwort zum Inhalt hat. Ergänzend dazu wurde ein Forschungsprogramm zur Bestimmung der individuellen Suszeptibilität und des Krebsrisiko nach Strahlenexposition konzipiert und begonnen. Außerdem wurde ein Forschungsprogramm zu kardiovaskulären Strahlenschäden nach Exposition mit niedrigen Dosen entwickelt. Parallel dazu wurde ein Programm zur Nachwuchsförderung im Bereich der Strahlenbiologie realisiert.

Das Vorhaben „**Molekulare Signaturen von kombinierten Schadstoffwirkungen bei Lungenkrebs (3607S04528)**“ konnte die generelle Geeignetheit der Archivproben für immunhistochemische Expressionsanalysen demonstrieren. Ziel war eine entsprechende Untersuchung mit der immunhistochemischen Bestimmung von 22 Kandidatenproteinen. Dazu wurde eine stratifizierte Zufallsstichprobe von 147 Gewebeblöcken nach häufigen histologischen Subtypen (Adenokarzinom, Plattenepithelkarzinom, kleinzelliges Karzinom) und Gefahrstoffbelastung (hohe und niedrige Radon- bzw. Arsenexposition) aus dem WISMUT-Sektionsarchiv entnommen. Die komplexen Untersuchungsergebnisse wurden mit verschiedenen Klassifikationsverfah-

ren ausgewertet. Es konnte gezeigt werden, dass der im Zytoplasma lokalisierte *Hypoxia-Inducible Factor-1α* (HIF1A) und der nukleäre Marker NKX2-1 eine gute Diskriminierung der drei Tumorzelltypen ermöglichen. Es ließen sich jedoch mit den ausgewählten 22 Markern keine Signaturen von Expositionsart oder Silikose in den Tumoren nachweisen. Dieses Ergebnis ist unter dem Gesichtspunkt, dass Schlüsselprozesse der Lungenentwicklung bei der Krebsentstehung rekapituliert werden, verständlich, da diese sehr präzise ‚programmiert‘ sind. Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass Stammzellkompartimente zwar durch eine Exposition Signale zur Geweberegeneration erhalten, jedoch dass dann die Geweberegeneration nach einem festen molekularen Programm abläuft. Bei der Krebsentstehung sind diese Prozesse zwar gestört, jedoch ist nicht anhand der hier ausgewählten Marker erkennbar, dass diese Störung mit einer Schadstoff-typischen ‚molekularen Signatur‘ charakterisiert werden kann.

Im Vorhaben „**Zelluläre und molekulare Mechanismen direkter und indirekter Organschädigung durch ionisierende Strahlung (3607S04546)**“ zeigen die Untersuchungen auf RNA-Ebene mittels real-time-PCR eine Beeinflussung der Genexpression, ausgelöst durch die Einwirkung ionisierender Strahlen. Die Bestrahlung der Lunge mit einer Einzeldosis von 25 Gy führt zu einer deutlichen Steigerung der Genexpression pro-inflammatorischer Zytokine und Chemokine. Die Infiltrierung neutrophiler Granulozyten und Makrophagen ins bestrahlte Gewebe bleibt jedoch scheinbar aus. Dies lässt darauf schließen, dass die Reparaturvorgänge nach der Lungenbestrahlung anders ablaufen als wenn sie durch andere Noxen induziert werden. Die Schädigung des bestrahlten Gewebes konnte aber durch Läsionen und dadurch akkumulierte rote Blutkörperchen gezeigt werden. Die Untersuchung späterer Zeitpunkte ist nötig, um die Entstehung der Fibrose und die Entwicklung der Reparaturvorgänge beobachten zu können. Der craniale Teil der Leber wird bei einer Lungenbestrahlung durchaus beeinflusst, was durch Messungen der Genexpression gezeigt werden konnte. Die Auswirkungen der lokal erhöhten Expression mancher Gene in der cranialen Leber sind bis jetzt nicht erschlossen. Es ist jedoch anzunehmen, dass der Stoffwechsel der Leber in gewisser Weise beeinträchtigt werden könnte. Die Regulierung einiger Proteine wie die des Eisenstoffwechsels unterliegt individuellen Unterschieden und muss näher untersucht werden. Jedoch deuten einige Ergebnisse, inklusive der Messung des Serumeisens, auf einen erhöhten Eisenbedarf der Zellen hin.

THEMENBEREICH 04 - MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz veröffentlicht regelmäßig Daten über die aus medizinischer Diagnostik resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung. Die kollektive effektive Dosis bzw. effektive Dosis pro Kopf wird im Wesentlichen auf der Basis von Daten über die Häufigkeit berechnet, mit der unterschiedliche Leistungsziffern von Ärzten liquidiert werden. Bei etlichen Leistungsziffern sind dabei der Körperbereich oder die Art der Strahlenanwendung nicht eindeutig bestimmt. Im Rahmen des Vorhabens „**Differenzierung von GOÄ- und EBM-Ziffern, die sich auf röntgendiagnostische Maßnahmen verschiedener Körperregionen beziehen („Sammelpositionen“), im ambulanten Bereich (3607S04496)**“ wurden diejenigen Leistungsziffern betrachtet, bei denen sich die Unbestimmtheit von Körperbereich und Art der Strahlenanwendung relevant auf die Berechnung der kollektiven effektiven Dosis auswirkt. Für diese Leistungsziffern wurden die für jede Leistungsziffer möglichen Körperbereiche bzw. Arten der Strahlenanwendung bestimmt und deren relative Häufigkeit im Rahmen einer in Bezug auf unterschiedliche erbringende Arztgruppen geschichteten Stichprobe erhoben. Die erhobenen Daten ermöglichen es, die im Rahmen der Studie betrachtete Unbestimmtheit bei der Berechnung der Kollektivdosis deutlich zu verringern.

THEMENBEREICH 05 - RADIOÖKOLOGIE

Im Vorhaben „**Klärung technischer und rechtlicher Fragestellungen bei der Beseitigung radioaktiv kontaminierter Abfälle landwirtschaftlicher Produkte nach Ereignissen mit nicht unerheblichen radiologischen Konsequenzen (3608S04572)**“ wurde, ausgehend von einem schweren Unfallszenario, ermittelt, welche Mengen zu entsorgender landwirtschaftlicher Produkte im ungünstigsten Fall möglich sind. Die untersuchten Entsorgungswege weisen unterschiedliche Eignung, insbesondere auf Grund bestehender Kapazitäten, Infrastruktur, Logistik und technischer Durchführbarkeit auf. Bedeutung hat teils auch die Zwischenlagerung, um Engpässen zu begegnen. Als Gesamtergebnis der technischen und rechtlichen Untersu-

chungen wurde ein Formulierungsvorschlag für eine Eilverordnung entworfen, die im Bedarfsfall die Nutzung der geeigneten Entsorgungswege sowie die Zwischenlagerung ermöglichen soll.

THEMENBEREICH 06 - NOTFALLSCHUTZ

Im Vorhaben wurde ein „**Katalog von Übungsszenarien und eine Übungsdokumentation für behördliche Notfallschutzorganisationen (3607S04558)**“ für das Training behördlicher Notfallorganisationen entwickelt. Auf Basis vorliegender Untersuchungen zu Unfallabläufen in Kernkraftwerken wurden zu diesem Zweck am Beispiel von zwei Referenzanlagen (DWR und SWR) insgesamt sieben Szenarien erarbeitet. Der Szenarienkatalog und die Ergebnisse einer Recherche internationaler Vorgehensweisen auf diesem Gebiet wurden zur Vorbereitung, Durchführung und Auswertung einer Notfallübung genutzt. Die bisherige Übungspraxis der Notfallschutzorganisation des Bundes wird hierdurch optimiert und weiter entwickelt werden. Das Nutzungspotenzial des Übungskatalogs wurde bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Übung CORE 2009 demonstriert.

THEMENBEREICH 07 - VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

An dem Workshop im Rahmen des Vorhabens „**Frauen in der Strahlenforschung - ein Jahrhundert nach Marie Curie (3609I02201)**“, der vom 18.5.2009 bis zum 20.5.2009 am Helmholtz Zentrum München stattfand, nahmen insgesamt 105 Personen aus 6 Nationen teil. Das wissenschaftliche Programm setzte sich aus 2 Übersichtsvorträgen und 4 Sitzungen mit je 7 bis 8 Vorträgen zusammen, wobei 20 eingeladene und 7 aus den eingereichten Beiträgen ausgewählte Sprecher ihre Daten präsentierten. Der erste Übersichtsvortrag behandelte die biologischen Effekte von Bestrahlung mit niedrigen Dosen. In den anschließenden Sitzungen wurden folgende Schwerpunkte behandelt: 1. Bedeutung der DNA-Reparatur für die zelluläre Reaktion nach Bestrahlung, 2. Bedeutung von schadensinduzierten Signalkaskaden, Zellzyklus und Apoptose für die zelluläre Antwort auf Bestrahlung, 3. geschlechtsspezifischer Unterschiede gegenüber genotoxischen Agenzien und 4. moderne Ansätze im Rahmen der strahlenbiologischen Forschung. Der zweite Übersichtsvortrag befasste sich mit einem historischen Überblick über bedeutsame Wissenschaftlerinnen in der Strahlenforschung. Der wichtigste Punkt dieses Workshops lag in der erstmaligen systematischen Diskussion von geschlechtsspezifischen Unterschieden in der Strahlenreaktion, was besonders für eine individualisierte Strahlentherapie wichtig ist.

Das Vorhaben „**Epidemiologische Qualitätsprüfung zum Vorhaben St.Sch. 4493 (Epidemiologische Studie zu angeborenen Fehlbildungen in der Umgebung deutscher Leistungsreaktoren) (3608S03021)**“ erbrachte, dass die Studie sachgerecht durchgeführt und die gefundenen Ergebnisse adäquat interpretiert wurden. Die Ergebnisse des Vorhabens St.Sch. 4493 können somit als Grundlage für weitere Untersuchungen dienen.

Im Vorhaben „**Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Einrichtungen und Anlagen nach AtG, StrlSchV und RöV unter dem Gesichtspunkt der Optimierung (3607S04513)**“ wurden tätigkeitsbezogene Daten über die berufliche Strahlenexposition in Betrieb wie auch in Stilllegung befindlichen deutschen Kernkraftwerken und Anlagen der Ver- und Entsorgung für die Jahre 2006 und 2007 erhoben und bewertet. Die Daten basieren auf der betrieblichen Dosimetrie der Anlagen und haben damit eine größere Detailtiefe als die Daten der amtlichen Dosimetrie. Die Ergebnisse des Vorhabens unterstützen das BMU bei der Wahrnehmung seiner Zweckmäßigkeitssaufsicht.

Im Ergebnis des Vorhabens „**Erarbeitung von praktischen Vorgaben zur Probennahme und Probenaufbereitung von überwachungsbedürftigen Rückständen gemäß Strahlenschutzverordnung - StrlSchV, Anlage XII (zu §§ 97 bis 102), und von Baustoffen (3608S04573)**“ entstanden Vorgaben zur einheitlichen sach- und fachgerechten Probennahme und Probenaufbereitung. Diese Vorgaben sind Voraussetzung um zukünftig besser repräsentative und reproduzierbare Messergebnisse bei der Ermittlung der spezifischen Aktivität in Rückständen gemäß Strahlenschutzverordnung - StrlSchV, Anlage XII (zu §§ 97 bis 102), und von Baustoffen zu erhalten. Dafür wurden umfangreiche Recherchen bezüglich der Eigenschaften der

Rückstände durchgeführt. Im Teil 2 werden für alle in Frage kommenden Rückstände Standorte in Deutschland, die technologisch bedingte Entstehung, physikalische Eigenschaften sowie die sich daraus ableitenden Radionuklidgemische ausführlich beschrieben. Darüber hinaus wurden statistische Testverfahren vorgeschlagen, nach denen die Überwachungsbedürftigkeit der Rückstände noch besser statistisch signifikant nachgewiesen werden kann.

THEMENBEREICH 08 - NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Im Vorhaben „**Bestimmung und Vergleich der von Erdkabeln und Hochspannungsleitungen verursachten Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern (S3608S03011)**“ wurden mittels Messungen und Berechnungen tatsächlich vorkommende und maximal mögliche elektrische und magnetische Immissionen bestimmt. Die Auswirkungen unterschiedlicher technischer Realisierungen sowie der Beitrag der Stromversorgungsstrassen zu Magnetfeldimmissionen in Wohnungen wurden untersucht. Die auf maximale Anlagenauslastung extrapolierten Immissionen erreichten im Bereich von Freileitungsstrassen ca. 52 μT bzw. 9 kV/m. Im Trassenbereich von 380 kV-Freileitungen wurden in mehreren Fällen kleinräumige Überschreitungen des Grenzwerts der 26. BImSchV für das elektrische Feld festgestellt. Über Erdkabeln mit einer Verlegetiefe von mindestens 1,5 m können Werte der magnetischen Flussdichte bis 108 μT auftreten, d. h. dort sind kleinräumige Überschreitungen des Grenzwerts der 26. BImSchV für das Magnetfeld möglich. In Abschnitten, in denen für Erdkabel eine weiter reduzierte Verlegetiefe gewählt wurde, können entsprechend höhere Magnetfeldwerte auftreten. Außerhalb des Trassenbereichs verursachen Erdkabel deutlich niedrigere Immissionen als Freileitungen der gleichen Spannungsebene. Benachbarte Hochspannungsfreileitungen können in Wohnungen zu mittleren Expositionen führen, die deutlich über denen in Wohnungen fernab solcher Trassen liegen.

Im Vorhaben „**Risikowahrnehmung und Risikokommunikation im Bereich Niederfrequenter Felder (3608S03015)**“ wurde eine Bestandsaufnahme zum Kenntnisstand und Besorgtheit bezüglich möglicher gesundheitlicher Auswirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder der Versorgung mit Strom und der Stromanwendung sowie zu bisherigen Ergebnissen aus Umfragen vorgenommen. Bisherige Befragungen zeigten, dass sich ein substantieller Anteil der Bevölkerung Sorgen macht und davon ausgeht, dass die Felder im Alltag Krankheitssymptome verursachen können. Auf der Basis des bisherigen Kenntnisstands wurden Annahmen formuliert, die durch zwei Befragungen überprüft wurden. Die durchgeführte Befragung hat die Annahmen nur teils bestätigt. Im Ergebnis kann die Aussage getroffen werden, dass die Besorgtheit hinsichtlich gesundheitlicher Auswirkungen niederfrequenter Felder mit der Nähe der Wohnung zu Hochspannungsleitungen zunimmt. Eine Risikokommunikation bezogen auf niederfrequente Felder ist notwendig, vor allem von wissenschaftlicher Seite. Neben wissenschaftlichen Erkenntnissen sollten dabei auch die technischen Aspekte kommuniziert werden.

Bei der „**Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks 2009 (3609S80001)**“ handelt es sich um die Wiederaufnahme einer Studie, die das BfS bereits in den Jahren 2003 bis 2006 jährlich durch infas durchführen ließ. Die Befragung untersucht die Einschätzung der Risikowahrnehmung verschiedener Quellen für HF-EMF im Kontext anderer möglicher Umwelt- und Gesundheitsbelastungen in der Bevölkerung und gibt Aufschluss über generelle Mobilfunknutzungsgewohnheiten sowie über die Einstellung zu diesen Themen. Zur Optimierung der Informationsverbreitung durch das BfS werden sowohl Informationsstand und -verhalten als auch die Interessenslage in der Bevölkerung thematisiert. Darüber hinaus wurde auf Basis der Erhebungsdaten 2009 erstmals eine Segmentierung der Bevölkerung vorgenommen, welche Anhaltspunkte für eine zielgruppengerechte Öffentlichkeitsarbeit liefert. Weiterhin werden Einflussstärken soziodemografischer und inhaltlicher Aspekte auf die Besorgtheit der Bevölkerung wegen elektromagnetischer Felder untersucht. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Studienreihe über alle Erhebungszeiträume durch eine verhältnismäßig starke Kontinuität der Ergebnisse gekennzeichnet ist.

Ziel des Vorhabens „**Untersuchungen zur Bedeutung unterschiedlicher Parameter der UV-Exposition und der individuellen Risikofaktoren bei der Entstehung von Hautkrebs (3606S04506)**“ war die Charakterisierung schwer UV-geschädigter Basalzellen in der Epidermis sowie die Untersuchung der Prozesse, die in der Epidermis nach der Induktion dieser Zellen ablaufen und möglicherweise zur Hautkrebsin-

duktion beitragen. Darüber hinaus wurde der Einfluss verschiedener Expositionsparameter auf diese Vorgänge untersucht. Die Lokalisation der schwer geschädigten Zellen sowie die Anreicherung dieser Zellen in einer isolierten Population epidermaler Stammzellen weisen darauf hin, dass es sich um epidermale Stammzellen handelt. Die epigenetische Charakterisierung über Histon- und DNA-Methylierungsmuster ist bisher nicht so eindeutig. Die Zellen tragen keine p53-Mutation und sind nicht apoptotisch. Die geschädigten Zellen proliferieren selten, sind aber noch zur Zellteilung fähig. Unter bestimmten Umständen werden die DNA-Schäden an die Tochterzellen weitergegeben. Vereinzelt wird, wie für adulte Stammzellen beschrieben, eine asymmetrische Zellteilung beobachtet. Die schwer UV-geschädigten Zellen können auch durch UVA-induziert werden, eine Vorbestrahlung mit UVA und eine folgende Exposition mit solarer UV-Strahlung erhöht die Anzahl an geschädigten Zellen.

Im Vorhaben „**Bestimmung der Exposition durch Magnetfelder alternativer Antriebskonzepte (3608S04574)**“ zeigten die durchgeführten Immissionsmessungen in drei Hybrid-PKWs (Honda Civic IMA, Toyota Prius, Lexus GS450h), zwei Elektroautos (Panda Electric, Doblo Electric), einem Hybrid Nahverkehrsbus (Urbino 18 Hybrid), einem Hybrid-LKW (Atego Blue TEC Hybrid) und einem Elektroschlepper (PEFRA 780) selbst hinsichtlich der lokalen Maximalwerte in keinem der untersuchten Fahrzeuge Überschreitungen der ICNIRP-Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung. Am Fahrer- und Beifahrerplatz der untersuchten Hybrid- und Elektro-PKWs traten die Maximalimmissionen typischer Weise im Fußbereich während des Bremsens und Beschleunigens auf und lagen maximal bei ca. 35% des ICNIRP Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung. Auf der Rückbank lag das Immissionsmaximum auf Grund der im Fahrzeugheck untergebrachten Batterie und der zugehörigen Verkabelung häufig im Unterleibsbereich. Im untersuchten Hybrid-Nahverkehrsbus wurden auf dem Sitzplatz unterhalb der Inverter-Elektronik lokale Spitzenimmissionswerte im Kopfbereich bis zu ca. 19% des ICNIRP Referenzwertes festgestellt. An Fahrgastplätzen in größerer Entfernung zu den Antriebskomponenten lagen die Immissionen nur mehr im Bereich des allgemein zu erwartenden Immissionshintergrundes. Die Spitzenwerte der Magnetfeldimmissionen an den Fahrerplätzen des untersuchten Hybrid-LKWs und des untersuchten Elektroschleppers lagen unter normalen Betriebsbedingungen durchwegs unterhalb von 1% des ICNIRP Referenzwertes für berufliche Exposition. Die Ergebnisse zeigten weiterhin, dass die installierte elektrische Leistung in den Fahrzeugen kein adäquates Maß für die zu erwartende Exposition darstellt, sondern dass vielmehr die individuelle Anordnung der Systemkomponenten sowie deren Verkabelung relevant sind.

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 the BMU's specific tasks in the field of radiation protection. Planning, technical and administrative preparation, awarding of contracts, general support as well as the technical evaluation of research and study projects are tasks of the Federal Office for Radiation Protection. This report provides information on preliminary (in the form of status reports) and, where applicable, final results of radiation protection projects within the BMU's Departmental Research Programme for the year 2009.

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). Implementation of these tasks and in particular the development of radiation protection guidelines and the supervision of the scientific and legal aspects of the implementation of nuclear and radiation protection laws by the Federal States and by BfS 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 allocated to BMU, 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 the BMU can take appropriate measures 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. BMU is required to control the observance of these principles.

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.

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

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

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

SUMMARY OF RESULTS FROM RECENT RESEARCH PROJECTS

In the following the results of selected research projects concluded in 2009 will be reported:

SUBJECT AREA 01 - NATURAL RADIATION EXPOSURE

Within the research project "**Preparation of database BuRG („Bundeseinheitliche Datei Radon in Gebäuden“) for access by internet as well as exchange of data (3608S01002)**" the general technical conditions for this access were defined. The assignment of user rights was developed. Programming was carried out. Currently, the closing functional checks are done by the BfS.

Aim of the research project "**Genetic study on the offspring and relatives of Wismut employees who died of lung cancer prior to the age of 51 years (3607S04530)**" was the reconstruction of Wismut employees Genotyps who died from lung cancer before reaching the age of 51 from offspring and relatives. The individual radiation sensitivity should be investigated and a bio bank of the participants should be developed. A questionnaire was created and sent to 450 available addresses out of 475 known offspring. Only 87 participants sent back the agreement, questionnaire and 4 blood samples taken by general practitioner. Primary lymphocytes, serum and DNA were extracted from the blood samples. The data from the questionnaire was fed into a database. According to the power estimation at least 150 participants would have been necessary to answer the original question. Due to the low response rate the project was cancelled. The collected data and biomaterials were transferred to the BfS and can be used in future projects.

In the frame of the research project "**Progression of technical bases for the development of time and cost effective procedures for the determination of radiation exposures due to radon in dwellings (3607S04534)**" it has been shown how the radon source term of a dwelling can be determined together with the ventilation rate and what prognoses follow from these measurements concerning the potential radon risk. The examination of the results of long term (several months) and short term (1 - 2 weeks, time-resolved) radon measurements showed that passive 2-phase (e. g. day/night) measurements are very efficient (good price/performance ratio) and permit us to evaluate the radon risk and the exposure of the individual occupants on a good footing.

The data generated within the research project "**Proteomanalysis of blood samples from ancient Wismut employees regarding potential biomarkers for arsene- and /or radiation exposure with proteomics and RNA-Microarray technologies (3607S04537)**" gave an indication for the influence of arsenic and radiation exposure to the proteome of peripheric mononuclear blood cells. Already published results were confirmed. The data provide the basis for further studies to find biomarker. The results from the mRNA

analysis suggest that some immune-related processes might be down regulated in the exposed donor groups compared to the reference group A. In group C, some B-cell markers are up regulated, which might indicate a shifted cell population in this donor group. A comparison of the proteome and mRNA expression data does not show an overlap of regulated entities.

Within the research project “**Data acquisition from the Wismut Health Archives of the German Federal Institute for Occupational Safety and Health on demand for the epidemiological Wismut studies of the BfS (3608S04540)**” the Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA) searched her health archives for additional information regarding causes of death und possible new addresses for the ongoing Wismut cohort study which is conducted by the Federal Office for Radiation Protection (BfS). For almost 60% of the 1031 investigated persons new information could be obtained, including 153 causes of death und 138 persons for whom the vital status could be clarified. With these newly gained data the loss to follow-up of the cohort study can be further reduced and the significance of the risk analyses can be increased.

SUBJECT AREA 02 - RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

In the research project “**Individual monitoring with electronic personal dosimeters in pulsed radiation fields (3608S02002)**” the influence of pulsed radiation fields on electronic personal dosimeters (EPD) based on Silicon semiconductor detectors has been studied. Like all counting detectors, they exhibit a dead time. This causes a loss of information - the so-called dead time loss -, especially for high dose rates. This effect is amplified in pulsed radiation fields. Even if the average dose rate is equal to that of a stationary radiation field, the dose rate during a pulse can be up to several magnitudes higher. Consequently, the dead time loss increases. In case of a rectangular pulse shape, the dead time loss for a given dose rate can be calculated explicitly using a new empirical formula. For arbitrary pulses, a Monte-Carlo code has been developed. If the dead time and the calibration factor of the dosimeter are known, it is possible to obtain the operational range for any pulsed radiation field. With the presented methods, it was possible to verify the unlimited operational capability of EPD in stray radiation fields of any pulsed medical radiation source.

Within the research project “**Calculations of internal and external radiation exposure based on voxel models (3605S04468)**” Organ dose conversion coefficients for children exposed due to contaminated ground and air were calculated and compared with respective values for adults. Furthermore, organ doses for typical CT examinations were calculated for voxel phantoms representing patients of various ages, statures and both genders. A voxel model of a pregnant woman in the 24th week of gestation was segmented, including several separately segmented organs of the foetus. This model was used to calculate doses from internal (specific absorbed fractions) and various external exposure situations (idealised geometries, environmental geometries, and frequent x-ray examinations).

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

Biological systems are complex, variable and to a great extent adaptive to environmental and occupational challenge such as ionising radiation, making the mathematical modelling of their behaviour a difficult task. The required models need to be based on useful experimental data describing global effects on a cellular, tissue and organ level. High-throughput technologies such as proteomics have been shown to be powerful tools on many areas of modern biology. In radiation biology, especially facing the question of possible adverse health effects following exposures to low doses of ionising and non-ionising radiation, new and sensitive approaches are slowly gaining support. The organisers of the research project “**1st Radiation Proteomics Workshop (3608S03030)**” 27-28 May 2009 in Neuherberg aimed to encourage the discussion between radiation biologists and proteomics specialists and enhance their future co-operation. During the intensive two days with lectures, posters, and information about the latest methodological highlights and challenges in proteomics, the status of radiation proteomics today was outlined and future goals speeding up the process of discovery of new molecular targets of ionising radiation were set.

The comparison of the 2D-protein pattern both of lymphoblastoid cell lines as well as primary lymphocytes of human origin with genetically determined differences in the radiosensitivity profile (radioresistant, radiosensitive and normal radiosensitive/radioresistant) indicates a differential expression of specified proteins which could serve as marker proteins for radioresistance or radiosensitivity. With relevance for primary lymphocytes the research project **“Changes in cellular early response proteins after exposure to ionising radiation: biomarkers of individual radiation sensitivity (3605S04474)”** demonstrates as potential marker for radiation sensitivity the reduced basal expression of the proteins CLIC1, glutaredoxin-1, ENO1, and WNT7A. The study also revealed that the 2D-protein pattern of lymphoblastoid cell lines shows marked differences to the 2D-protein pattern of primary lymphocytes with respect to the radiosensitivity or radioresistance background. Nevertheless several protein spot areas show a very similar clustering of potentially relevant proteins in both cell types. Lymphoblastoid cells for example present as radioresistance marker the proteins mortalin and GST omega 1 which was also found as marker for radioresistant A549 cells. Although mortalin could not be identified in primary lymphocytes, it could be demonstrated that protein GST omega 1 shows a strong reduction in protein expression as a function of the radiosensitivity profile of the cells. As this protein together with the protein glutaredoxin which is strongly reduced in radiosensitive primary lymphocytes, is involved in the detoxification mechanism of free radicals, it can be concluded that the reduced expression of this protein results in a significantly enhanced radiosensitivity.

The project **Determining individual radiation sensitivity in the frame of risk analyses at low doses and with respect to an optimized radiation therapy (3605S04494)** covered three topics. A research programme was developed: in the area of experimental radiation therapy to investigate regulation effects of miRNA molecules on the course of radiation response. This was done in co-operation with the Institutes for Radiation Therapy of both the TU and the LMU Munich. Additionally, a research programme to determine individual susceptibility and cancer risk after radiation exposure was designed and started. Last but not least, a research programme on cardiovascular radiation effects following exposures to low doses was implemented. In parallel, a training and education programme for young scientists was implemented.

The research project demonstrated that the archival material was generally suited for expression analysis. It was aimed to investigate **“Molecular signatures of compound carcinogens in lung cancer (3607S04528)”** using immunohistochemical analyses of 22 candidate proteins. A random set of 160 tissue blocks was selected from the WISMUT tissue repository stratified by major histological subtype (adenocarcinoma, squamous cell carcinoma, small cell lung cancer) and exposure to carcinogens (low and high exposure to radon and arsenic). The complex data set was statistically analysed using different methods of classification. The cytoplasmic hypoxia-inducible factor-1 α (HIF1A) and the nuclear marker NKX2-1 could be demonstrated to allow good differentiation of the three tumour types. A molecular signature of exposure type or silicosis, however, could not be detected based on the 22 selected markers. This makes sense in view of a recapitulation of key processes of lung development during carcinogenesis because these 'programs' run with high precision. In respect to this result there is evidence to suggest that stem cell compartments - triggered by an exposure - receive signals to activate tissue regeneration but the initiated molecular program would then follow a fixed path. These processes are altered during carcinogenesis, however, a possible carcinogen-related 'molecular signature' of these alterations could not be found in the expression patterns of the selected markers.

In the research project **“Cellular and molecular mechanisms of direct and indirect organ damage via ionising radiation (3607S04546)”** gene expression is influenced by ionising radiation, shown by analyzing RNA-level with real time-PCR. Irradiation of the whole lung with a dose of 25 Gy leads to a notable upregulation of pro-inflammatory cytokines and chemokines. However, infiltration of inflammatory cells like neutrophil granulocytes and macrophages did not occur. That may lead to the assumption that there are different repair processes in lung irradiation than with other stimuli. Apart from this damage of the tissue could be confirmed by lesions and accumulated erythrocytes. An analysis of late time points is necessary to observe formation of fibrosis and development of repair processes. The cranial liver is indeed influenced when the lung is irradiated, shown with gene expression patterns in fig. 5. The consequences of elevations in gene expressions in liver are still unknown, but it can be assumed that metabolism is somehow affected. The regulation of some proteins underlies individual variations and has to be further investigated. However, several results are indicating an elevated need of iron.

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

The German Federal Office for Radiation Protection (BfS) regularly publishes information on the collective effective dose (or per caput effective dose) related to medical diagnostics of the general population. When calculating the collective effective dose the BfS uses assumptions on the effective dose per examination for a certain diagnostic procedure and the number of procedures performed in a year. Information on the annual frequency of diagnostic procedures is obtained from health insurance data (reimbursement codes). Several reimbursement codes, however, are not clearly related to a distinct body region or diagnostic procedure ("accumulative codes"). In the research project **"Survey to determine the frequency of X-ray diagnostic procedures related to reimbursement codes without clear allocation to certain body regions (ambulatory sector) (3607S04496)"** those accumulative codes were investigated, where the uncertainty causes relevant uncertainties when calculating the collective effective dose. For each of these codes a list of possible body regions affected was created. The relative frequency of different body regions, where the diagnostic procedure could be performed, was determined by a stratified sample. In the frame of the study only diagnostics on out-patients was investigated. The results of the study can be used to significantly reduce the uncertainty of the collective effective dose caused by those reimbursement codes where the body region or type of procedure is not exactly defined.

SUBJECT AREA 05 - RADIOECOLOGY

The aim of the research project **"Clarification of technical and legal questions concerning the disposal of radioactive contaminated agricultural products following events with not insignificant radiological consequences (3608S04572)"** was to identify which amounts of agricultural products must be disposed of in the worst case of a severe accident scenario. The examined disposal ways show different suitability, in particular regarding existing capacities, infrastructure, logistics and technical feasibility. Partly also interim storage is important to meet bottlenecks. As result of the technical and juridical investigations a formulation proposal for an emergency decree was presented which should allow the use of the suitable disposal ways as well as the interim storage in case of need.

SUBJECT AREA 06 - EMERGENCY MANAGEMENT

Within the research project, a **"Catalogue of exercise scenarios and an exercise documentation for emergency response planning by authorities (3607S04558)"** on the federal level has been developed. Based on existing analyses of accidents in nuclear power plants, a total of seven scenarios for two reference plants (PWR and BWR) have been elaborated. The catalogue of exercise scenarios and the results from a survey of international practice in this field of activity are used as a basis for the preparation, conduct and evaluation of an emergency exercise. By this, the exercise practice of the competent federal authorities can be optimized and further developed. This potential was applied and demonstrated by the preparation, conduct and evaluation of exercise CORE 2009.

SUBJECT AREA 07 - PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

The workshop within the research project **"Women in Radiation Sciences - a century after Marie Curie (3609I02201)"** (18.05.2009 -20.05.2009) at the Helmholtz Center Munich was attended by 105 persons from 6 different nations. The scientific program consisted of 2 keynote lectures and 4 sessions including 7 to 8 lectures from 20 invited speakers and 7 presentations selected from submitted abstracts. The first keynote lecture was about biological effects of low dose irradiation. The topics of the four individual sessions were: 1. Cellular Responses to Radiation: DNA Repair and Disease 2. Cellular Responses to Radiation: Cell Cycle and Apoptosis 3. Sex-Specific Reactions towards Genotoxic Agents and 4. Hot Spicy Topics in Radiation Sciences. In the second keynote lecture entitled "Women in Radiation Sciences - Some glances into history" the scientific lifework of women important for radiation sciences was illustrated. A special point in this workshop

was the systematic discussion of sex-specific differences in radiation response, which is especially important for an individualized radiation therapy.

The research project **“Epidemiological evaluation of St.Sch. 4493 (Epidemiological study on congenital malformations in the vicinity of nuclear power plants in Germany) (3608S03021)”** showed that the study was conducted state of the art and that the conclusions were adequate. The results of St.Sch. 4493 thus build the basis for further research.

In the research project **“Update and evaluation of task-related exposure in facilities according to AtG, StrlSchV and RöV in consideration of optimization (3607S04513)”** data on the task related occupational exposures of personnel in nuclear power plants and facilities of the nuclear fuel cycle, both in operation or under decommissioning, have been collected and evaluated with emphasis on the years 2006 and 2007. The data are based on the operational dosimetry systems of the facilities and are more detailed compared to the data of the statutory dosimetry. The results support the BMU in matters of supervision according to the Atomic Energy Act.

As a result of the research project **“Work out of practical guidelines for sample taking and preparation of residues requiring control according to the German Radiation Protection Ordinance, §§ 97 to 102, Appendix XII, and of building materials (3608S04573)”** guidelines were established for a proper and profound sample taking and subsequent preparation. These guidelines are an important prerequisite for more representative and verified results of the measured activity concentrations in residues according to the German Radiation Protection Ordinance, Appendix XII, (Paragraphs 93 to 102), and in building materials. To establish these guidelines, extensive investigations of the properties of the residues were carried out. In Part 2 of the project, production and/or storage places, production technologies, physical properties and the deduced contents of radionuclides are described in detail for all residues considered. Moreover, in the project statistical methods were suggested which may improve the significance regarding monitoring requirements of residues.

SUBJECT AREA 08 - NON-IONISING RADIATION

Within the research project **“Determination and comparison of the low frequency electric and magnetic fields caused by high voltage transmission lines (S3608S03011)”** actual and worst case immissions in the vicinity of overhead and underground high voltage power lines have been determined by measurements resp. calculations. The effects of different technical realisations and the contribution of power lines to the magnetic field exposure in dwellings have been investigated. For overhead power lines extrapolation to maximum power load resulted in immissions up to 52 μT resp. 9 kV/m. Within the hauling corridor of 380 kV overhead power lines small scale violations of the legal limits defined by the 26th Ordinance Implementing the Federal Immission Control Act (26. BImSchV) were found in some cases. Above underground cables installed in a depth of 1.5 m or more magnetic fields of up to 108 μT are possible, i.e. small scale violations of the legal limits defined by the 26. BImSchV can occur within the hauling corridor. The immissions caused by underground cables outside the hauling corridor are substantially lower than those caused by overhead power lines of the same voltage level. High voltage overhead power lines in the neighbourhood can lead to exposures in dwellings substantially higher than those in dwellings far from power lines.

Within the scope of the research project **“Risk perception and risk communication related to low-frequency fields (3608S03015)”** an inventory of the state-of-knowledge and public concern about possible detrimental health effects of low frequency electric and magnetic fields were investigated. Mainly the effect of power lines and their application were in the focus of the investigation as the sources of the low frequency electric and magnetic fields. An inventory was created from the results of the previous public surveys conducted in the last five years. The previous surveys indicated a concern in a considerable portion of the public, holding the opinion that the fields can cause illness. Based on the previous state-of-knowledge, theses have been formulated discussing the public's health concerns about low frequency electric fields. These theses were verified with help of two public surveys. According to the survey's results, the theses were partly confirmed. In summary, the public concern related to the effects of low frequency electric fields on health increases

with the decreasing distance of power lines to homes. Risk communication, related to low frequency fields, is indispensable, especially coming from scientific organizations and including technical specifications.

The research project **“Investigation of the public’s assessment concerning possible risks of high frequency electromagnetic fields of mobile telecommunications 2009 (3609S80001)”** is a follow-up to a survey, which the BfS had already ordered infas to carry out annually in the years 2003 to 2006. The survey focuses on the public’s assessment of their perception of different HF-EMF sources within the context of other potential environmental or health-related impact, and sheds light on general habits of mobile telecommunications’ usage as well as the attitude towards these topics. Issues such as level of information und information seeking behaviour as well as the public’s interests were broached in order to optimise the circulation of information by the BfS. Moreover, a segmentation of the population was carried out for the first time, based upon the survey data from 2009, and revealing indications for public relations tailored to the very target group. Furthermore, the strength of the influence of socio-demographic and contextual aspects on the public’s solicitude regarding electromagnetic fields can be reviewed. To sum up, it can be established that the survey series is characterised by a relatively strong consistency of its results, and that throughout all survey periods.

Aim of the research project **“Investigations on the relevance of different parameters of UV-exposure and individual risk factors of skin cancer development (3606S04506)”** was the characterization of heavily UV-damaged epidermal basal cells and the investigation of following processes in the epidermis, leading to skin cancer induction. Furthermore, the effect of different exposure parameters on this processes have been investigated. The localisation of the heavily damaged cells as well as the accumulation in isolated stem cell populations indicates that they represent epidermal stem cells. The epigenetic characterization by identification of specific histone or DNA-methylation pattern was not as explicit. No p53 mutation was found in the cells and they are not apoptotic. Though proliferating very rarely they still are able to undergo cell division. Under certain circumstances the DNA-damage is passed to the daughter cells. Sporadic asymmetric cell divisions, as described for adult stem cells, can be observed. The heavily damaged cells can be induced by UVA-irradiation and a pre-irradiation with UVA followed by an exposure with solar simulating UV can enhance the number of damaged cells.

In the research project **“Determination of exposure against magnetic fields caused by electric and hybrid drive concepts (3608S04574)”** all magnetic field measurements carried out in three hybrid cars (Honda Civic IMA, Toyota Prius, Lexus GS450h), two electric cars (Panda Electric, Doblo Electric), one hybrid bus (Urbino 18 Hybrid), one hybrid lorry (Atego Blue TEC Hybrid) und one electric tractor (PEFRA 780) showed that even the local maximum field levels did not exceed the reference level for general public according to the ICNIRP guidelines 1998. At the driver’s and co-driver’s seat of the investigated motorcars the local maximum field value usually appeared in the feet area during braking and acceleration and was found to be up to approximately 35% of the ICNIRP general public reference level. On the rear seat the maximum field levels frequently appeared in the lower belly area due to the batteries and corresponding cabling located in the rear of the vehicles. Inside the investigated hybrid bus the local maximum exposure was found to be approximately 19% of the ICNIRP general public reference level at head level on the seat directly beneath the inverter electronics. On passengers’ places at larger distances from the electric components of the drive systems the magnetic field was not significantly higher than the usual magnetic background. Peak magnetic field exposure levels at the driver’s location inside the investigated hybrid lorry and the investigated electric tractor were found to be lower than 1% of the ICNIRP reference level for occupational exposure under usual working conditions. Furthermore, the measurement results clearly showed that the nominal electric power of the installed drive system is not an adequate indicator for exposure, but that the individual arrangement of the system components and the cabling between them is much more relevant.

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 2009:

RESULTS

OF BfS SUPPORTED BMU RADIATION PROTECTION RESEARCH PROJECTS IN 2009

SUBJECT AREA 01

NATURAL RADIATION EXPOSURE

Preparation of the database BuRG („Bundeseinheitliche Datei Radon in Gebäuden“) for access by internet as well as exchange of data
St.Sch. 3608S01002

Genetic study on the offspring and relatives of Wismut employees who died of lung cancer prior to the age of 51 years
St.Sch. 3607S04530

Development of technical bases for the development of time and cost effective procedures for the determination of radiation exposures due to radon in dwellings
St.Sch. 3607S04534

Proteomanalysis of blood samples from former Wismut employees with respect to potential biomarkers for arsene- and /or radiation exposure with proteomics and RNA-Microarray technologies
St.Sch. 3607S04537

Acquisition of data from the Wismut Health Archives of the German Federal Institute for Occupational Safety and Health on demand by the epidemiological Wismut studies of the BfS
St.Sch. 3608S04540

SUBJECT AREA 02

RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Individual monitoring with electronic personal dosimeters in pulsed radiation fields
St.Sch. 3608S02002

Calculations of internal and external radiation exposure based on voxel models
St.Sch. 3605S04468

SUBJECT AREA 03

RADIATION BIOLOGY - EFFECTS OF IONISING RADIATION, RADIOSENSITIVITY

1st International Radiation Proteomics Workshop
St.Sch. 3608S03030

Changes in cellular early response proteins after exposure to ionising radiation: biomarkers of individual radiation sensitivity
St.Sch. 3605S04474

Determining individual radiation sensitivity in the frame of risk analyses at low doses and with respect to an optimized radiation therapy
St.Sch. 3605S04494

Molecular signatures of compound carcinogens in lung cancer
St.Sch. 3607S04528

Cellular and molecular mechanisms of direct and indirect organ damage via ionising radiation
St.Sch. 3607S04546

SUBJECT AREA 04
MEDICAL RADIATION EXPOSURES / X-RAY ORDINANCE

Survey to determine the frequency of X-ray diagnostic procedures based on reimbursement codes without clear allocation to certain body regions (ambulatory sector)
St.Sch. 3607S04496

SUBJECT AREA 05
RADIOECOLOGY

Clarification of technical and legal questions concerning the disposal of radioactive contaminated agricultural products following events with significant radiological consequences
St.Sch. 3608S04572

SUBJECT AREA 06
EMERGENCY MANAGEMENT

Catalogue of exercise scenarios and an exercise documentation for emergency response authorities
St.Sch. 3607S04558

SUBJECT AREA 07
PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Workshop: "Women in Radiation Sciences - a Century after Marie Curie"
St.Sch. 3609I02201

Epidemiological evaluation of St.Sch. 4493 (Epidemiological study on congenital malformations in the vicinity of nuclear power plants in Germany)
St.Sch. 3608S03021

Update and evaluation of task-related exposure in facilities according to AtG, StrlSchV and RöV in consideration of optimization
St.Sch. 3607S04513

Work out of practical guidelines for sample taking and preparation of residues requiring control according to the German Radiation Protection Ordinance, §§ 97 to 102, Appendix XII, and of building materials
St.Sch. 3608S04573

SUBJECT AREA 08
NON-IONISING RADIATION

Determination and comparison of the low frequency electric and magnetic fields caused by high voltage transmission lines
St.Sch. S3608S03011

Risk perception and risk communication related to low-frequency fields
St.Sch. 3608S03015

Investigations on the relevance of different parameters of UV-exposure and individual risk factors of skin cancer development
St.Sch. 3606S04506

Determination of exposure against magnetic fields caused by electric and hybrid drive concepts
St.Sch. 3608S04574

Identifying the general public's fears and anxieties with regard to possible risks of high frequency electromagnetic fields of mobile telecommunications 2009
St.Sch. 3609S80001

STATUS REPORTS

OF BfS SUPPORTED BMU RADIATION PROTECTION RESEARCH PROJECTS

SUBJECT AREA 01

NATURAL RADIATION EXPOSURE

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
St.Sch. 3608S01001

Third mortality follow-up of the cohort of approximately 64.000 former Wismut employees at the appointed date 31st December 2008
St.Sch. 3608S01005

Biological sample and data collection of occupationally radiation exposed workers - the German Uranium Miners Biobank - a pilot study
St.Sch. 3608S04532

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

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
St.Sch. 3608S10003

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

Continuation and technical support of the Internet platform for the European Network for naturally occurring radioactive materials (NORM) Database
St.Sch. 3609S10006

SUBJECT AREA 02

RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

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

Retrospective Dosimetry for the population in emergency situations
St.Sch. 3607S04560

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

SUBJECT AREA 03

RADIATION BIOLOGY - EFFECTS OF IONISING RADIATION, RADIOSENSITIVITY

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
St.Sch. 3608S03002

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

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

SUBJECT AREA 04

MEDICAL RADIATION EXPOSURES / X-RAY ORDINANCE

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

St.Sch. 3608S04001

Survey to determine frequency and radiation dose from nuclear medical diagnostics

St.Sch. 3608S04003

Development and Implementation of methods for dosereduction in the area of digital X-ray mammography and their clinical evaluation using ROC-studies

St.Sch. 3608S04489

Clinical and radiation protective evaluation of the new imaging devices CT, MRI and PET - in comparison to coronary angiography - for the diagnostics of early as well as clinical manifest states of coronary heart disease

St.Sch. 3607S04543

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

St.Sch. 3608S04575

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

St.Sch. 3608S20001

Measurement of effective doses of CBCT devices in relationship to a measurand

St.Sch. 3609S40003

SUBJECT AREA 05

RADIOECOLOGY

Nationwide survey of the radiocaesium contamination of wild boars

St.Sch. 3607S04561

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

St.Sch. 3608S04571

Improvement and Validation of ARTM for the Application as an Atmospheric Dispersion Model in AVV and SBG

St.Sch. 3608S05005

SUBJECT AREA 06

EMERGENCY MANAGEMENT

Education and advanced training of physicians in radiation accident management

St.Sch. 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

St.Sch. 3608S04568

Evaluation of the radiological relevance of inventories on NPP-Sites without core-inventory as input data for the realtime online decision support system RODOS

St.Sch. 3608S06006

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

St.Sch. 3608S06007

Development of room temperature semiconductor detectors based on Cadmium-Zink-Tellurid (CZT) for the German gamma dose rate network

St.Sch. 3608S06008

Update of the source term library of the decision support system RODOS for events during power operation

St.Sch. 3609S60009

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
St.Sch. 3609S70005

SUBJECT AREA 07

PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Cancer risk estimation after acute exposure to gamma rays by analysis of data for the atomic bomb survivors of Hiroshima and Nagasaki
St.Sch. 3607S04551

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

Health economic evaluation of radon mitigation strategies
St.Sch. 3609S10007

Analysis of environmentally caused genetic aberrations associated with the development of childhood leukaemia
St.Sch. 3609S30013

SUBJECT AREA 08

NON-IONISING RADIATION

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

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

Determination of the individual UV exposure depending on lifestyle and of current UV index
St.Sch. 3608S03012

Laymen adequate communication of scientific uncertainties in the field of EMF
St.Sch. 3608S03016

Influence of high frequency electromagnetic fields of mobile phone telecommunication on human fibroblasts (genotoxicity)
St.Sch. 360704504

Advancement of the EMF literature database
St.Sch. 3607S04527

Genotoxic effects of terahertz radiation in vitro
St.Sch. 3607S04533

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

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

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

Influence of low frequency electromagnetic fields on the developing haematopoietic system, immune system and CNS in vivo
St.Sch. 3608S30006

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

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

Systematic ascertainment of all non-ionising radiation sources relevant for general public exposure
St.Sch. 3609S80004

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

RESEARCH PROJECTS STARTED IN 2009

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

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

Update and evaluation of task-related radiation exposure in facilities according to AtG, on-site located interim storages for nuclear waste and non-nuclear facilities according to StrlSchV and RöV
St.Sch. 3609S20001

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

**ERGEBNISSE
DER VOM BfS BEGLEITETEN STRAHLENSCHUTZ-FORSCHUNGSVORHABEN
DES BMU IM JAHR 2009**

***RESULTS
OF BfS SUPPORTED BMU RADIATION PROTECTION RESEARCH PROJECTS
IN 2009***

**Themenbereich 01
Natürliche Strahlenexposition**

***Subject area 01
Natural radiation exposure***

Thema Vorbereitung der Bundeseinheitlichen Datei Radon in Gebäuden (BuRG) für einen web-basierten Zugriff bzw. Datenaustausch			
Subject <i>Preparation of the database BuRG ("Bundeseinheitliche Datei Radon in Gebäuden") for access by internet as well as exchange of data</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3608S01002	Beginn 01.09.2008	Ende 31.03.2009	Fördermittel EUR 114.240,-
Forschungs- / Auftragnehmer Kemschi & Partner, Beratende Geologen, Bonn			
Projektleitung Dr. J. Kemschi	Fachbetreuung BfS Dr. W. Meyer / SW 1.1	verantwortlich für den Text Dr. J. Kemschi	

1. ZIELSETZUNG

Die Bundeseinheitliche Datei Radon in Gebäuden (BuRG) sollte für einen web-basierten Zugriff auf das Datenbankmodul und für einen lokalen Betrieb des GIS-Client umprogrammiert werden. Dazu sollte ein System unterschiedlicher Zugriffsrechte die Möglichkeit liefern, den Nutzerkreis deutlich zu erweitern.

Der Datenbestand, die Datenhierarchie und die Funktionalitäten der bisherigen BuRG-Version sollten dabei in vollem Umfang beibehalten bleiben.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Einzelnen sollen folgende Zielstellungen umgesetzt werden:

- 2.1 Erarbeitung der technischen Rahmenbedingungen für Datenbank- und GIS (Geoinformationssystem)-Anwendung,
- 2.2 Erarbeitung eines einfach strukturierten Rechtevergabesystems für verschiedene Rollen, denen Nutzer zugeordnet werden können,
- 2.3 Änderungen am Datenmodell und an der Verzeichnisstruktur der GIS-Daten,
- 2.4 Programmiertechnische Umsetzung der notwendigen Arbeiten.

3. METHODIK

In Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber wurden die technischen Rahmenbedingungen für die Vorbereitung der BuRG für einen web-basierten Zugriff sowie die lokale Nutzung des GIS-Teils festgelegt. Ein Rechtevergabesystem wurde entwickelt und umgesetzt. Dazu waren Programmierarbeiten erforderlich.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 TECHNISCHE RAHMENBEDINGUNGEN

In Diskussion mit dem Auftraggeber wurden neben technischen Fragen wie z. B. zur verwendeten Programmiersprache oder der Browserkompatibilität auch ein in einzelnen Punkten abgeändertes Konzept der Nutzerführung abgestimmt. So sollten beispielsweise einfache Suchfunktionen mit Filtern und eine Beschränkung der jeweils gefundenen Treffer die Übersichtlichkeit für den Nutzer gewährleisten. Des Weiteren wurden gestalterische Merkmale (z. B. Einbindung eines BfS-Logos) und die Einbindung der Nutzerverwaltung in das existierende BfS-Konzept festgelegt und umgesetzt.

4.2 RECHTEVERGABESYSTEM

Nach Diskussion mit dem Auftraggeber wurden fünf verschiedene Rollen mit jeweils unterschiedlichen Rechten definiert. Die Abstufung der Rechte ermöglicht es unter anderem, Messkampagnen strukturiert durchzuführen und Personal für bestimmte Arbeitsschritte einen gezielten und gegebenenfalls begrenzten Zugriff auf die BuRG zu erlauben (z. B. ausschließlich für die Erfassung bzw. Bearbeitung von Daten). Auch eine reine Lesemöglichkeit wurde realisiert.

4.3 DATENMODELL UND GIS-VERZEICHNISSTRUKTUR

Im Datenmodell wurden die sich aus den unter 4.2 erwähnten Vorgaben für Rollen und Rechte notwendigen strukturellen Anpassungen in Form von Änderungen bzw. Ergänzungen vorgenommen. Für die bereits in der BuRG vorhandenen Datensätze wurde eine Zuordnung geschaffen, um den Datenzugriff entsprechend des Rechtesystems zu ermöglichen.

4.4 PROGRAMMIERTECHNISCHE UMSETZUNG

Die programmiertechnische Umsetzung beinhaltete die Entwicklung der Anwendungssteuerung mit den geforderten Funktionalitäten incl. von Plausibilitätsprüfungen bei der Dateneingabe sowie die Neuentwicklung von Funktionalitäten, die eine Bereitstellung des Datenmaterials für den GIS-Client ermöglichen. Für den GIS-Client wurde durch eine Anpassung der Skripte gewährleistet, dass ein Zugriff auf Daten bzw. Karten im lokalen Betrieb möglich ist.

5. ERGEBNISSE

Ein Rechtevergabesystem sowie die daraus resultierenden Änderungen im Datenmodell wurden erarbeitet und umgesetzt. Die Programmierung der gewünschten Funktionalitäten für einen web-basierten Zugriff wurde durchgeführt, ebenso wie die Umschreibung der Skripte für die lokale Nutzung des GIS-Client. Ein entsprechendes Nutzerhandbuch wurde erstellt.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Korrektur von Softwarefehlern der beiden Clients ist weitestgehend abgeschlossen. Der DB-Client wird durch das SW 1.1 des BfS bereits an der produktiven Datenbank genutzt. Die versuchsweise Nutzung des DB-Clients von Mitarbeitern des bayrischen Landesamtes für Umwelt an einer Testumgebung verläuft ebenfalls erfolgreich. Der für den lokalen Betrieb vorgesehene GIS-Client wird im SW 1.1 ebenfalls bereits genutzt. Im nächsten Schritt ist die Freigabe der Clients für eine Nutzung durch die interessierten Bundesländer vorgesehen. Die dazu erforderliche Stellungnahme der Datenschutzbeauftragten des BfS liegt vor. Nach Fertigstellung des Nutzungsvertrages kann dieser dem BMU zur Zustimmung vorgelegt werden und die Software wie vorgesehen durch die Bundesländer genutzt werden.

Thema Studie der Genetik bei Nachkommen und Geschwistern von Wismut-Mitarbeitern, die vor dem 51. Lebensjahr an Lungenkrebs verstorben sind			
Subject <i>Genetic study on the offspring and relatives of Wismut employees who died of lung cancer prior to the age of 51 years</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3607S04530	Beginn 01.01.2008	Ende 30.06.2009	Fördermittel EUR 185.738,-
Forschungs- / Auftragnehmer Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Epidemiologie, München			
Projektleitung Dr. H. Grallert, Dr. W. Sauter	Fachbetreuung BfS Dr. J. Danescu-Mayer / AG-SG 1.3	verantwortlich für den Text Dr. H. Grallert	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens war es, den Genotyp von Wismut-Mitarbeitern, die vor dem 51-ten Lebensjahr an Lungenkrebs erkrankten, aus ihren Nachkommen und anderer Verwandten zu rekonstruieren, um die individuelle Strahlenempfindlichkeit des Erkrankten zu untersuchen und eine Bioprobenbank der Studienteilnehmer zu erstellen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 PLANUNGSPHASE

- Untersuchungsstrategie, Ausarbeitung der Fragebögen und Einverständniserklärungen, Information für den Hausarzt, Antrag für die Ethikkommission,
- Berechnung der statistischen Power der Untersuchungen,
- Festlegung der Auswahlkriterien zur Untersuchung der Wismut-Kinder und der Kontrollpopulation,
- Anlegen und Organisation einer Phänotyp- und Bioproben-Datenbank, Vorbereitung der Datenhaltung und Auswertung der Genotypen.

2.2 REKRUTIERUNGSPHASE

- Rekrutierung der Studienteilnehmer,
- Präparation von DNA und primären B-Lymphozyten aus Vollblut,
- Immortalisierung der Lymphozyten von Wismutkindern und Familienangehörigen.

3. METHODIK

3.1 PLANUNGSPHASE

3.1.1 Untersuchungsstrategie, Ausarbeitung der Fragebögen und Einverständniserklärungen, Information für den Hausarzt, Antrag für die Ethikkommission

Die Fragebögen zur Erhebung der Phänotypdaten sind in Abstimmung mit dem BfS Fragen zu Strahlenexposition / Empfindlichkeitsreaktionen / Rauchen erarbeitet worden. Weiterhin wurde die Kooperation mit den Hausärzten für die Blutabnahme vorbereitet. Das Projekt wurde von der Ethikkommission begutachtet und genehmigt.

Die Phänotypdaten wie zum Beispiel Strahlenexposition unter Tage wurden aus der BfS-Kohorte übernommen. Andere wichtige Merkmale der verstorbenen Wismutarbeiter wurden durch Befragung deren Kinder (im Folgenden Wismutkinder genannt), Ehefrauen und Geschwister reaktiviert und aufgearbeitet.

3.1.2 Berechnung der statistischen Power der Untersuchungen

In der Planungsphase wurde anhand von statistischen Powerberechnungen untersucht, inwieweit es bei den verfügbaren Zahlen an Probanden und Kontrollen zu erwarten ist, relevante Effekte gemessen in Odds-Ratios statistisch nachzuweisen, bzw. es wurde berechnet, welche Fallzahlen notwendig wären, um solche nachweisen zu können. Es wären laut Powerberechnung mindestens 150 Teilnehmer nötig gewesen, um die Studie wie geplant durchzuführen. Der geplante Vergleich der Allelhäufigkeit unter Kindern von an Lungenkrebs erkrankten Bergleuten mit der der Allgemeinbevölkerung hat dann gute Erfolgschancen, wenn

- a) mindestens 60% der Kinder an der Untersuchung teilnehmen,
- b) a priori eine Steigerung des Lungenkrebsrisikos, bedingt durch die Interaktion aus Bestrahlung und genetischer Disposition (messbar an einem von Erkrankungslokus abweichendem genetischem Marker) von mindestens dem 4fachen als möglich erachtet wird.

3.1.3 Festlegung der Auswahlkriterien zur Untersuchung der Wismut-Kinder und der Kontrollpopulation

Von Interesse waren die 475 Nachkommen der 213 jung an Lungenkrebs verstorbenen Wismutarbeiter sowie weitere rekrutierbare Verwandte, wie Geschwister und die Ehefrauen. Ca. 450 Adressen konnten ermittelt werden, knapp 30 Nachkommen waren bereits verstorben. Somit war mit maximal 420 Nachkommen von früh an Lungenkrebs verstorbenen ehemaligen Wismut-Bergarbeitern zu rechnen. Die Nachkommen sind jetzt in einem Alter ca. 60 Jahre +/- 20 Jahren.

Untersuchungsmaterial war das genetische Material von Kindern und Verwandten der jung an Lungenkrebs verstorbenen Wismut-Mitarbeiter. Durch den Hausarzt sollten 4 Monovetten Blut abgenommen und ans Studienzentrum geschickt werden. Ein Fragebogen zur Selbstauskunft wurde von den Teilnehmern ausgefüllt und zum Studienzentrum geschickt.

Als potenzielle Kontrollgruppe wurde die KORA-Population ausgewählt und aus der LUCY-Studie standen zusätzlich Familien jung an Lungenkrebs erkrankter Patienten zur Verfügung, die als Replikations- oder als weitere Kontrollgruppe herangezogen werden konnten.

3.1.4 Anlegen und Organisation einer Phänotyp- und Bioproben-Datenbank, Vorbereitung der Datenerhaltung und Auswertung der Genotypen

Eine projekteigene Datenbank wurde konzipiert, in der die Phänotypdaten der Wismutarbeiter und die ihrer Kinder und Angehörigen gehalten und leicht abgerufen werden können. Die Eingabemaske wurde auf Access-Basis entwickelt. Der Datenabgleich erfolgte mit Hilfe von SAS 9.1.

3.2 REKRUTIERUNGSPHASE

3.2.1 Rekrutierung der Studienteilnehmer

Die Adressen der Wismutarbeiterkinder/-verwandten wurden vom BfS zur Verfügung gestellt. Von jedem Teilnehmer musste eine Einverständniserklärung vorliegen. Diese wurde zusammen mit dem Anschreiben an die Teilnehmer geschickt. War die Reaktion positiv, d. h. willigten die Angeschriebenen in die Studie ein, wurde Ihnen der Fragebogen und das Blutset (Monovetten und Kanülen) zugeschickt mit der Bitte, den Fragebogen auszufüllen und sich bei ihrem nächsten Hausarztbesuch Blut abnehmen zu lassen. Zu diesem Zweck wurden auch ein Informationsschreiben und ein Probenbegleitbogen für den Hausarzt beigelegt mit der Bitte, diesen auszufüllen und die Proben zum nächstmöglichen Zeitpunkt postalisch im vorfrankierten Rückumschlag zu versenden. Innerhalb von 24 Stunden sollten die Blutproben im Studienzentrum eingehen. Die Blutabnahmen sollten dabei jeweils nur von Montag-Donnerstag erfolgen, um eine erfolgreich Verarbeitung im Labor zu gewährleisten.

3.2.2 Präparation von DNA und primären B-Lymphozyten aus Vollblut

Aus 4 Blutmonovetten eines jeden Probanden wurde DNA und Plasma isoliert. Für funktionelle Untersuchungen zur Strahlenempfindlichkeit am BfS wurden primäre B-Lymphozyten aus Vollblut isoliert und tiefgefroren. Eine Blutmonovette wurde als Rückstellprobe eingefroren. Alle Bioproben wurden entsprechend der SOPs „Standard Operation Procedures“ aufgearbeitet und gelagert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 REKRUTIERUNG

Von den 276 Personen die vor dem 51-ten Lebensjahr an Lungenkrebs erkrankten, konnten für 213 Männer Nachkommen recherchiert werden. Insgesamt wurden 475 Kinder gefunden.

Tabelle 1:
Übersicht der 475 recherchierten Nachkommen

Nachkommen	Status
11	Adressen nicht recherchierbar
93	unbekannt verzogen
77	verweigert
33	verstorben
95	Einverständnisse
166	Bisher keine Zu-/Absage

4.2 PRÄPARATION VON DNA UND PRIMÄREN B-LYMPHOZYTEN AUS VOLLBLUT

Die Verarbeitung der Blutproben wurde jeweils sofort nach Eintreffen der Proben durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

Das Projekt wurde wegen mangelnder Response abgebrochen.

Bis zum geplanten Ende der Studie konnte die zur Beantwortung der Fragestellung benötigte Mindestanzahl an Teilnehmern nicht erreicht werden. Insgesamt haben 98 Nachkommen zugesagt, an der Studie teilzunehmen. Den Fragebogen haben 90 Teilnehmer ausgefüllt zurückgesendet. Blutproben sind von 90 Teilnehmern eingegangen. 3 Teilnehmer haben ihr Einverständnis nachträglich zurückgezogen, woraufhin alle Biomaterialien vernichtet wurden. Für die restlichen 87 Teilnehmer konnte erfolgreich DNA, primäre Lymphozyten isoliert, sowie Serum gesammelt werden, um für Anschlussuntersuchungen zur Verfügung zu stehen. Die Biomaterialien wurden dem BfS übergeben. Die Daten aus dem Fragebogen wurden in die vorgesehene Datenbank eingegeben und dem BfS übergeben. Unter den Teilnehmenden waren 44 männliche und 46 weibliche Nachkommen von Wismut-Mitarbeitern. Die Fragebogenteile wurden weitestgehend vollständig ausgefüllt (Teil: Vater, Beruf, Gesundheit, Rauchen jeweils von allen Teilnehmern die den Fragebogen zurückgesendet haben, Teil: Mutter und Geschwister jeweils von 84). Da die ursprüngliche Fragestellung durch mangelnde Beteiligung nicht beantwortet werden kann, müssen neue Fragestellungen erarbeitet werden, um die gesammelten Proben zu nützen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das Ziel, die laut Powerberechnung notwendige Anzahl von 150 Studienteilnehmern zu rekrutieren, konnte nicht erreicht werden. Die jedoch im Rahmen der Studie gesammelten Bioproben stellen einen Grundstock für weiterführende Studien auf dem Gebiet der Strahlenschutzforschung dar und finden bereits Verwendung in Projekten des Kompetenzverbunds Strahlenforschung.

Thema Erarbeitung fachlicher Grundlagen für die Entwicklung zeit- und kosteneffektiver Verfahren zur Bestimmung von Strahlenexpositionen durch Radon in Wohnungen			
Subject <i>Development of technical bases for the development of time and cost effective procedures for the determination of radiation exposures due to radon in dwellings</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3607S04534	Beginn 06.11.2007	Ende 31.12.2009	Fördermittel EUR 158.826,-
Forschungs- / Auftragnehmer IAF - Radioökologie GmbH, Dresden; B.P.S. Engineering GmbH, Zwickau			
Projektleitung Dr. H. Schulz	Fachbetreuung BfS Dr. W. Meyer / SW 1.1	verantwortlich für den Text Dr. H. Schulz, E. Hermann, Dr. K. Flesch, R. Baumert, S. Jobski	

1. ZIELSETZUNG

In dem Vorhaben St.Sch. 4534 wurde die Zielstellung verfolgt und erreicht, die fachlichen Grundlagen für eine Vorgehensweise für die Messung von Radonkonzentrationen in Gebäuden und bei der Ermittlung der Radonexposition zu erarbeiten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Bearbeitung des Vorhabens erfolgte in den nachfolgend genannten 6 Aufgabenpunkten:

- Erarbeitung eines Planes zur termin- und qualitätsgerechten Umsetzung der Aufgabenstellung,
- Auswahl einer Anzahl repräsentativer Wohngebäude, die für die Messungen geeignet sind,
- Durchführung von Messungen,
- Beschreibung der wesentlichen Elemente des Radontransports,
- Ableitung des Radonquellterms,
- Vergleich verschiedener Verfahren zur Bestimmung des Langzeitmittelwertes der Radonaktivitätskonzentration in den Wohn- oder Aufenthaltsbereichen der Gebäude.

2.1 ERARBEITUNG EINES PLANES ZUR TERMIN- UND QUALITÄTSGERECHTEN UMSETZUNG DER AUFGABENSTELLUNG

In einer Anlaufberatung beim BfS in Berlin wurden die Untersuchungsmethodik inkl. der anschließend beabsichtigten Modellierungen zur Ableitung des Radonquellterms vorgestellt und gemeinsam mit den Betreuern die wesentlichen Termineckpunkte für die Durchführung dieses Vorhabens abgestimmt. Alle Aufgabenpunkte, die zeitlich überlappend bearbeitet wurden, sind in der geplanten Terminkette bearbeitet worden.

2.2 AUSWAHL EINER ANZAHL REPRÄSENTATIVER WOHNGEBÄUDE, DIE FÜR DIE MESSUNGEN GEEIGNET SIND

Als Grundlage für die Auswahl der Wohngebäude diente die im Rahmen der langjährigen Messungen der Radonkonzentration in Wohngebäuden durch das BfS erstellte Datenbank, wobei sowohl Häuser mit als auch ohne Keller untersucht werden sollten. Die Eignung wurde durch Erfassung der charakteristischen Gebäude-merkmale und mittels erster Übersichtsmessungen (zeitaufgelöste Messungen von etwa 10 bis 14 Tagen) geprüft.

2.3 DURCHFÜHRUNG VON MESSUNGEN

Am 20.3.2008 wurde mit den ersten Messungen in den Gebäuden begonnen. Am 21.10.2008 wurden die Messungen der 1. Messkampagne in den 10 Häusern abgeschlossen. Etwa zeitgleich begann die 2. Messkampagne, die dann im Herbst 2009 beendet wurde.

2.4 BESCHREIBUNG DER WESENTLICHEN ELEMENTE DES RADONTRANSPORTS

Die wesentlichen Elemente des Radontransports in Modellrechnungen für Aussagen zum Radonquellterm eines Hauses sind (s. Abbildung 1):

- die zeitabhängige Entwicklung der Radonquellstärke in den Wohnräumen,
- die daraus resultierende Gesamtradonquellstärke eines Wohnhauses,
- die Berücksichtigung der Erhaltungssätze für den Luftaustausch in allen Räumen des Hauses, wobei und die in das gesamte Haus von außerhalb (Atmosphäre bzw. Untergrund) eintretenden bzw. austretenden Luftströme (Atmosphäre) enthalten.

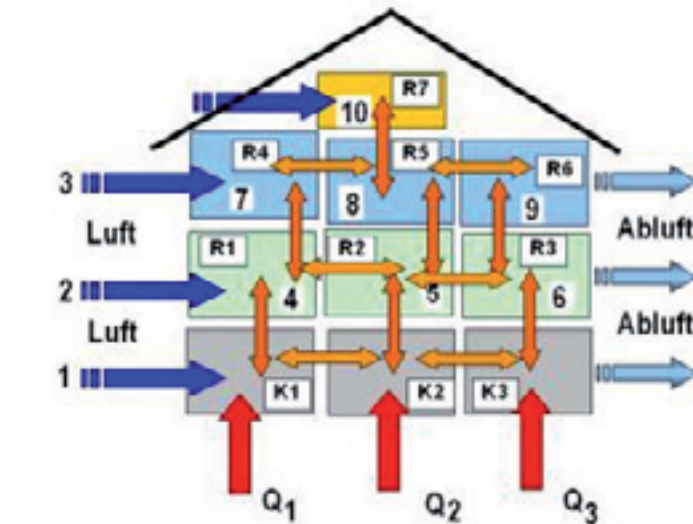


Abbildung 1:

Schematische Darstellung der Luftkopplungen in einem Haus, mit: R = Raum, K = Keller, Q = Radoneintrittsrate

2.5 ABLEITUNG DES RADONQUELLTERMS

Die wichtigen Radonquellterme bzw. Radonfrachtterme, genauer zu bezeichnen als Radonquellstärken bzw. Radonfrachten, ergeben sich aus dem Produkt von $\sum Q_i^m \cdot C_i$, wobei C_i die Radonkonzentrationen in den einzelnen Räumen bezeichnen (s. Abbildung 1). In Abhängigkeit von den jeweilig angenommenen Kopplungen und den Radonquelltermen, wobei zwischen den konvektiven Strömungen aus den unterschiedlichen Radonreservoirs in das Gebäude und der Radongeneration durch die Baumaterialien zu unterscheiden ist, ergibt sich ein gekoppeltes System von Differentialgleichungen, das die Radonkonzentrationsentwicklung in jedem einzelnen Raum beschreibt. Dieses System kann numerisch gelöst werden.

2.6 VERGLEICH VERSCHIEDENER VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DES LANGZEITMITTELWERTES DER RADONAKTIVITÄTSKONZENTRATION IN DEN WOHN- ODER AUFGENTHALTSBEREICHEN DER GEBÄUDE

Der durchzuführende Vergleich verschiedener Verfahren zur Bestimmung des Langzeitmittelwertes der Radonaktivitätskonzentration in den Wohn- oder Aufenthaltsbereichen von Wohngebäuden zeigte, dass zeitauflösende Screening-Messungen die Ergebnisse von Langzeitmessungen reflektieren, wenn als Messzeitraum ca. eine Woche ausgewählt wird und das Wochenende mit berücksichtigt ist. Insbesondere, wenn Nutzungsszenarien in den untersuchten Zeiträumen sehr unterschiedlich sind, können Abweichungen des Mittelwertes der Kurzzeitmessung vom gemessenen Jahresmittelwert der Radonkonzentration in den Innenräumen bestehen. Einer der Hauptgründe liegt in dem Sachverhalt, dass für die belastbare Abschätzung der Radonsituation in Wohngebäuden die Nutzungsszenarien im Detail zu betrachten sind.

3. METHODIK

An den einzelnen Objekten wurden nachfolgend aufgelistete Untersuchungen durchgeführt:

- Messung der Radonkonzentrationsentwicklung in allen Räumen des Hauses (Einsatz der Messgeräte AlphaGUARD, Radon Scout und ATMOS),
- Langzeitmessung der Radonkonzentration in allen Räumen,
- nutzungsabhängige Langzeitmessung in mindestens 2 Räumen (Schlafzimmer, Wohnzimmer) bei vorgegebenen Zeitregimen,
- Messung des Luftwechsels in ausgewählten Räumen,
- Messung der Differenzdrücke benachbarter Räume,
- Messung der Temperatur in allen Räumen,
- Bestimmung der Raumvolumina und Sammeln von Informationen über das Nutzungsverhalten,
- Messung der Außentemperatur,
- Messung der Luftfeuchte und des Luftdrucks in ausgewählten Räumen,
- Messung der Radonkonzentration in der Bodenluft im Umfeld des Hauses,
- Entnahme von Bodenproben zur Verifizierung und Interpretation der Bodenluftmessungen.

Als ein neues Element der Auswertung der Radonkonzentrationsentwicklung in einem Haus wird erstmals die Gesamtradonaktivität $\langle A_{Rn}(t) \rangle$ als Funktion der Zeit ermittelt

$$\langle A_{Rn}(t) \rangle = \sum_{i=1}^n V_i \cdot C_i(t)$$

mit V_i : Volumen, $C_i(t)$: Radonkonzentration des entsprechenden Raums i.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 DURCHFÜHRUNG VON MESSUNGEN

In den 10 ausgewählten Häusern wurden im Durchschnitt 16 zeitauflösende Messungen durchgeführt. In der Regel erstreckten sie sich über 1 bis 2 Wochen. Bei einer mittleren Raumzahl von 8 pro Haus wurde die Radonkonzentrationsentwicklung in jedem Raum durchschnittlich in 2 Messperioden untersucht.

Pro Hausgrundstück wurden im Durchschnitt 5 bis 7 Bodenluftmessungen durchgeführt und etwa 8 Bodenproben aus unterschiedlichen Tiefen entnommen und hinsichtlich der relevanten Radionuklide gammaspektrometrisch analysiert.

In möglichst jedem Raum eines Hauses wurde eine Radon-Langzeitmessung durchgeführt, wobei nachfolgend zusätzlich 45 so genannte „2-Phasen-Messungen“ realisiert wurden, um die Tag/Nacht-Unterschiede zu erfassen.

Es wurden insgesamt 27 Messungen zur Bestimmung der Luftwechselzahl durchgeführt, wobei ein Teil dieser Messungen keine Einzelmessung darstellt, sondern eine komplexe Vorgehensweise beinhaltet, da gleichzeitig in benachbarten Räumen auch der Anstieg des Tracergases (CO_2) und die zeitliche Entwicklung der Radonkonzentration mit aufgezeichnet wurden.

4.2 AUSWERTUNG DER MESSUNGEN UND MODELLRECHNUNGEN ZUR BESCHREIBUNG DES RADONFRACHTTERMS IN WOHNHÄUSERN

Die Bestimmung des Radonquellterms bzw. Radonfrachtterms eines Hauses ist eine neue Herangehensweise und beruht hauptsächlich auf der Prämisse, die zeitgleiche Entwicklung der Radonkonzentration in allen Räumen des Hauses aufzuzeichnen und über das Produkt von Raumgröße, multipliziert mit der gemessenen Radonkonzentration, eine zeitliche Entwicklung der Radonquellstärke in allen Räumen und damit auch der Gesamtquellstärke abzuleiten.

Informationen über das gesamte Systemverhalten eines Hauses hinsichtlich der Radonquellstärke können z. B. gewonnen werden, wenn die Radonkonzentration innerhalb des Hauses durch eine Querlüftung auf das Niveau der Außenluft abgesenkt wird und anschließend die zeitliche Entwicklung der Radonkonzentration für mehrere Stunden in allen Räumen „aufgezeichnet“ wird. In vielen Fällen birgt auch das Aufzeichnen des Ab-

senkens der Radonkonzentration im Zuge der Querlüftung bereits wichtige Informationen über die Kopplungen und den Quellterm. Aus dem Zeitverhalten des Radonanstiegs in den einzelnen Räumen kann der verallgemeinerte Radonfrachtterm abgeleitet werden. Das Haus als Ganzes wird bei dieser Herangehensweise wie eine große Exhalationsbox betrachtet, die auf dem Baugrund aufgesetzt ist.

Aus dem linearen Anstieg der Radonkonzentration im Keller kann nach erfolgter Lüftung der verallgemeinerte Radonfrachtterm direkt bestimmt werden. Dabei werden die zum Zeitpunkt der Messung herrschenden klimatischen Bedingungen implizit mit berücksichtigt. Durch Wiederholung der Messungen kann z. B. die Abhängigkeit dieses verallgemeinerten Radonquellterms von der Jahreszeit (Sommer-/Wintersaison) und anderen Einflussparametern bestimmt werden.

In der Abbildung 2 sind beispielhaft für ein Haus die Ergebnisse der zeitaufgelösten Messungen für die Verteilung der Gesamtradonaktivität dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die sich im Keller entwickelnde Radonkonzentration auch die der darüber liegenden Etagen stark beeinflusst, jedoch eine graduelle Abnahme bis zum Hausboden hin beobachtet wird. Diese Art der Darstellung der Gesamtradonaktivität vermittelt somit auf anschauliche Weise, dass der Radontransfer vom Keller in die darüber liegenden Wohnräume ein nicht zu vernachlässigendes Problem darstellt.

Die Abbildung 3 zeigt beispielhaft das Ergebnis der Modellierung von zwei gekoppelten Räumen mit zeitabhängigen Luftwechselzahlen. Die Ergebnisse belegen, dass nicht die Waschküche, sondern der Raum „Heizraum-Werkstatt“ im Keller an die Radonquelle (Bodenluft) gekoppelt ist und somit der Radonquellterm des Hauses sehr genau bestimmt werden kann.

Beispielhaft ist in der Abbildung 4 das Ergebnis der Modellierung für die Radonkonzentrationsentwicklung im Bad (Erdgeschoss) eines Hauses dargestellt. Der Luftwechsel im Bad ist nicht bekannt und wurde durch eine inverse Modellierung angepasst. Die Radonquellstärke (Keller gekoppelt an die Bodenluft) wurde experimentell bestimmt. Das so konzipierte Modell beschreibt die Radonkonzentrationsentwicklung sehr gut, wobei der mittlere Luftwechsel mit ca. $0,5 \text{ h}^{-1}$ bestimmt wurde.

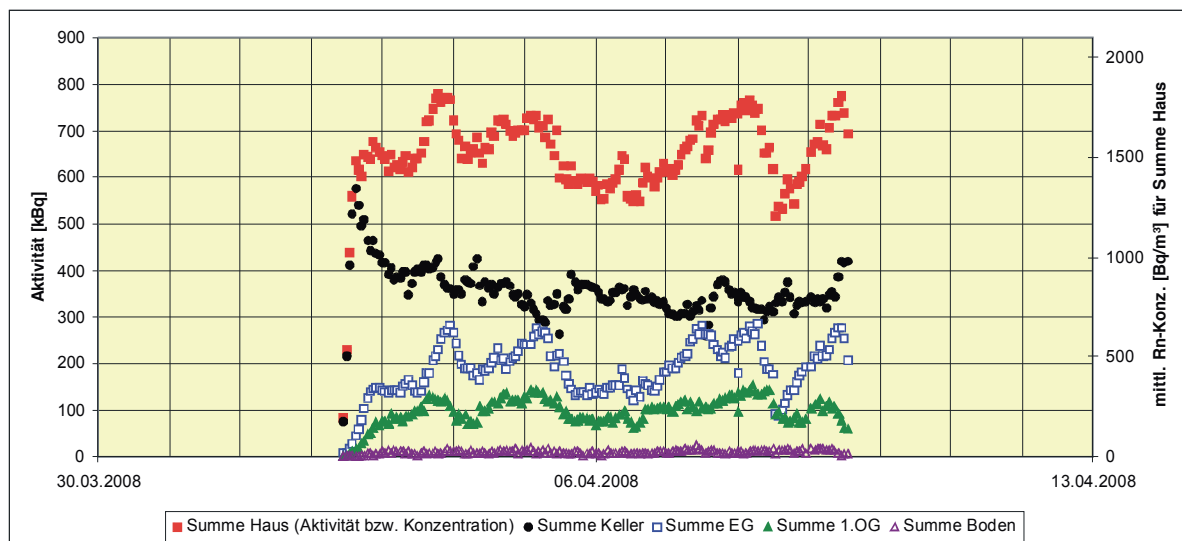


Abbildung 2:
Darstellung von zeitaufgelösten Messungen der Verteilung der Gesamtradonaktivität in einem Haus

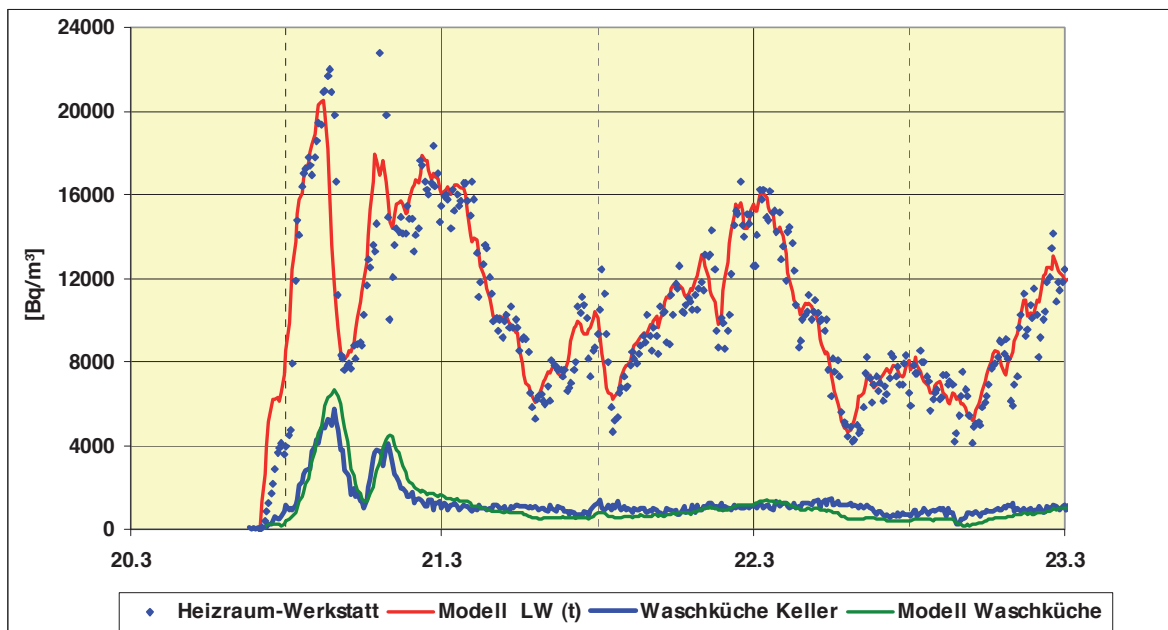


Abbildung 3:
Zeitliche Entwicklung der Radonkonzentrationen für Heizraum-Werkstatt im Keller und die benachbarte Waschküche sowie die Ergebnisse der Modellierung für die ersten 3 Tage

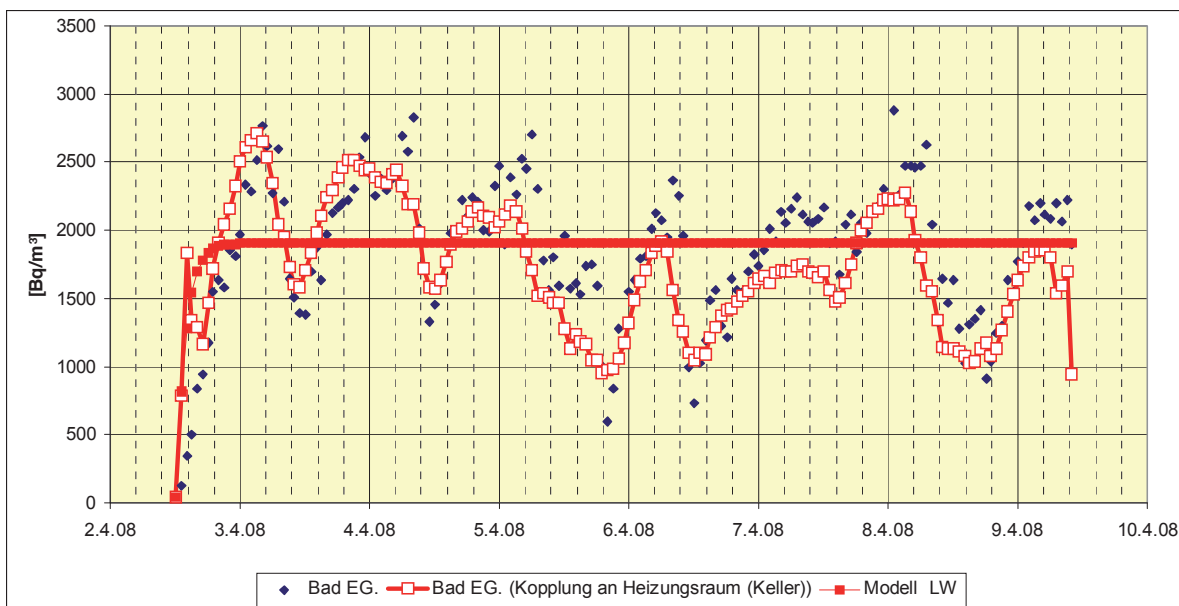


Abbildung 4:
Zeitliche Entwicklung der Radonkonzentration im Bad (Erdgeschoss), die Ergebnisse der Modellierung berücksichtigen eine direkte Ankopplung an den Heizungsraum im Keller

In der Abbildung 5 sind die Ergebnisse der zeitlichen Abhängigkeit der Radonkonzentration und der Luftwechselzahl für einen Raum dargestellt. Die Modellkurve ist parameterfrei berechnet worden, da sowohl der Luftwechsel als auch die Radonquellstärke bekannt sind. Es ist bemerkenswert, wie stark der Luftwechsel in dem Raum von $0,15 \text{ h}^{-1}$ bis $0,65 \text{ h}^{-1}$ schwankt, ohne dass der Raum innerhalb von 3 Tagen betreten wurde. Dies ist in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der inversen Modellierung (s. Abbildung 4) und wirft generell die

Frage auf, wie belastbar eine einmalige Luftwechsellmessung eingeschätzt werden kann. Die Schwankungsbreite des Luftwechsels wird noch signifikant vergrößert, wenn durch die Nutzung ein zusätzlicher und teilweise nicht voraussagbarer Luftzustrom impliziert wird.

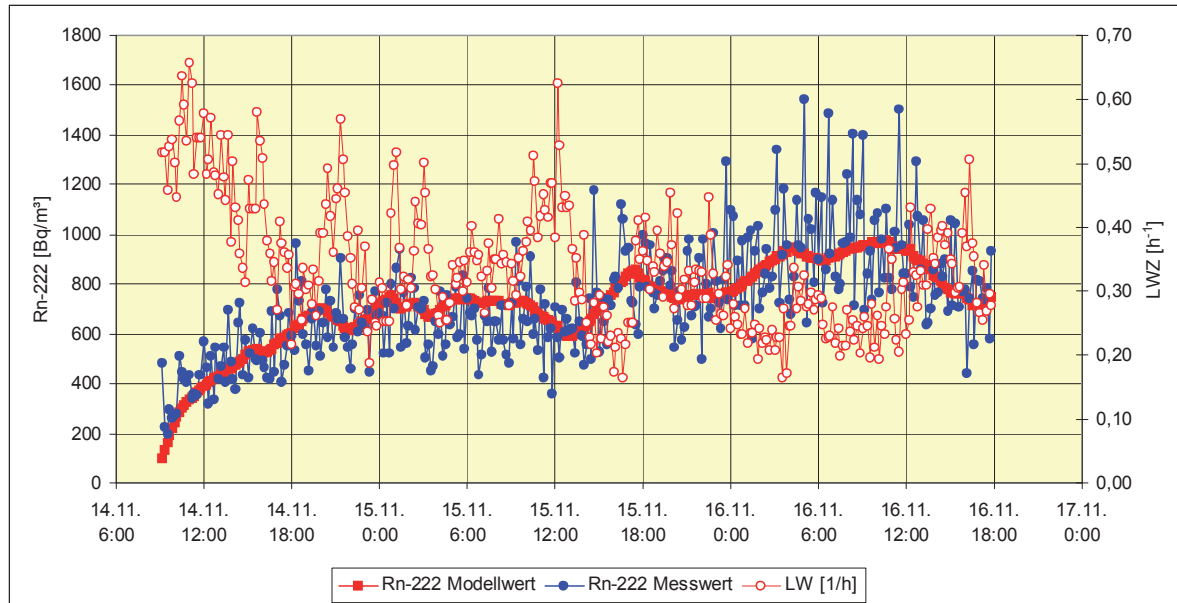


Abbildung 5:
Zeitliche Entwicklung der Radonkonzentration und der Luftwechselzahl

5. ERGEBNISSE

Zusammenfassend können folgende allgemeine Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen des Forschungsvorhabens gezogen werden:

1. Zeitauflösende Radonkurzzeitmessungen sollten über mindestens 7 Tage ausgedehnt und bei veränderten Nutzung- und Radontransportszenarien wiederholt werden, um das Radonrisiko für die Hausbewohner annähernd prognostizieren zu können. Für das Verständnis der Radonsituation in einem Gebäude sind sie alternativlos.
2. Passive Radon-Langzeitmessungen ohne Berücksichtigung des Nutzungsverhaltens sind nicht als konservativ zu betrachten.
3. 2-Phasen-Radonlangzeitmessungen, die die Nutzungscharakteristik berücksichtigen, liefern eine wesentlich genauere Grundlage für Expositionsabschätzungen.
4. Aus den Untersuchungsergebnissen folgt, dass bei Kenntnis des Radonquellterms Q_K ohne weitere Annahmen über das Systemverhalten (z. B. Luftwechsel, Transferfaktoren etc.) belastbare Prognosen über die Radonsituation im Haus und über das Radonrisiko der Bewohner nicht möglich sind.
5. Die Bestimmung des Quellterms Q_K eines Hauses birgt jedoch eine große Chance und einen völlig neuen Aspekt, wenn der Quellterm in Beziehung zur Radonkonzentration in der Bodenluft im Baugrund gesetzt wird. Das Verhältnis

$$I_{BH} \approx \frac{Q_K}{C_{Boden}} \left[\frac{1}{h} \right] \quad \text{ist die Radoninfiltrationsrate in das Haus, gemessen in} \quad \left[\frac{1}{h} \right]$$

Vereinfachend kann man auf die Bodenluftmessung verzichten und eine Bezugsgröße von 10 - 50 kBq/m³ einführen, um skalierte Infiltrationsraten aus dem Messwert für die Quellstärke abzuleiten. Diese pauschale Vorgehensweise ist gerechtfertigt, da die wichtige Information der Wechselwirkung des Hauses mit dem Baugrund in der exakt gemessenen Größe Radonquellterm enthalten ist und nicht in der Radonkonzentration in der Bodenluft des Baugrunds.

6. Liegen durch weitere Untersuchungen genügend Erfahrungen vor, kann der Radonquellterm Q_K bzw. die

Radoninfiltrationsrate I_{BH} z. B. in hoch, normal oder sehr hoch eingeordnet werden. Allein die I_{BH} legt letztlich fest, wie viel Radon in den Keller bzw. das Haus migriert. Wie sich jedoch der Radonfluss im Haus umverteilt, hängt weitestgehend von der Nutzung bzw. der Hauskonstruktion ab. Dabei spielen z. B. Temperatur- und Druckunterschiede eine zusätzlich zu betrachtende Rolle.

7. Die Ableitung von Prognosen aus den Quelltermen Q_K des Hauses ist ohne Kenntnis weiterer Systemgrößen nicht möglich. Dies wurde für die Fallbeispiele schlüssig dargestellt. Die Untersuchungen von 10 Häusern im Rahmen des Projekts haben gezeigt, dass Q_K überall sehr unterschiedlich und mit Sicherheit auch noch eine Funktion der Zeit ist bzw. von der nutzungsbedingten dynamischen Wechselwirkung zwischen Haus und Radonkonzentration im Baugrund abhängt. Wie viel Radon letztlich im Haus wo „ankommt“, legen die Bewohner im großen Maße durch ihr Nutzungsverhalten fest. Eine hohe Quellstärke Q_K weist zwar auf ein hohes Radonrisiko hin, darf aber nicht zwangsläufig als Maß für ein hohes Radonrisiko der Bewohner interpretiert werden.

Es kristallisieren sich folgende Prämissen für eine zukünftige Vorgehensweise heraus:

1. Die gleichzeitige Messung von Q_K mit C_{Boden} definieren über den Infiltrationsfaktor I_{BH} das Radonrisiko auf einer qualitativ neuen Stufe.
2. Aus dem Vergleich der Ergebnisse der Langzeitmessungen mit Ergebnissen der Quellstärkemessungen können Informationen über den mittleren Luftwechsel und Transferraten gewonnen werden.
3. Zeitauflösende Radonmessungen, gekoppelt mit Luftwechselmessungen sind notwendig, um die Radondynamik im Haus und die vorgefundenen hohen Radonkonzentrationen zu verstehen.
4. Um die bisher in Deutschland gemessenen Radonkonzentrationen in Häusern auf neuer Grundlage bewerten zu können, ist es erforderlich, sich auch einen adäquaten Überblick über den zu veranschlagenden Luftwechsel in den Häusern zu verschaffen. Ziel dieser Untersuchungen sollte es sein, herauszufinden, inwieweit erhöhte Radonkonzentrationen (Langzeitmittelwerte) auf zu geringe Luftwechselzahlen zurückzuführen sind. Entsprechende Untersuchungen sind im Zusammenhang mit Schimmelpilzbildungen in Wohnungen bereits durchgeführt worden.
5. Integrierende Langzeitmessungen sind ohne Berücksichtigung des Nutzungsverhaltens der Hausbewohner nicht als konservativ zu klassifizieren.
6. Die Ausweitung der kostengünstigen 2-Phasenmessungen würde hinsichtlich der Bewertung des Radonrisikos bzw. der individuellen Exposition der Hausbewohner einen großen Fortschritt ermöglichen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Auf der Basis der Ergebnisse des Vorhabens können Messanleitungen für die Ermittlung des Jahresmittelwertes der Radonkonzentration für solche Fälle erarbeitet und begründet werden, in denen nicht genug Zeit für eine Messung mit einer Dauer von einem Jahr zur Verfügung steht und der damit verbundene erhöhte Untersuchungsaufwand gerechtfertigt ist. Eine solche Methode kann bei der schnellen Bewertung des Erfolges von Radonschutzmaßnahmen bei neu errichteten und bestehenden Gebäuden, bei Immobilienverkäufen sowie für die Entscheidung von Rechtsstreitigkeiten bei vermieteten Immobilien von Bedeutung sein.

Thema			
Proteomanalyse von Blutproben ehemaliger Wismutbeschäftigter hinsichtlich potenzieller Biomarker für Arsen- und/oder Strahlenexposition mit Hilfe von Proteomics und RNA-Microarray-Technologien			
Subject			
<i>Proteomanalysis of blood samples from former Wismut employees with respect to potential biomarkers for arsene- and /or radiation exposure with proteomics and RNA-Microarray technologies</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3607S04537	Beginn 04.10.2007	Ende 31.12.2009	Fördermittel EUR 128.098,-
Forschungs- / Auftragnehmer Protagen AG			
Projektleitung M. Blüggel	Fachbetreuung BfS Dr. J. Danescu-Mayer / AG-SG 1.3		verantwortlich für den Text Dr. H. Bouws

1. ZIELSETZUNG

Die Wismut Uranbergarbeiter bilden eine sehr gut dokumentierte Kohorte von Beschäftigten die beruflich kombinierten Noxen wie Arsen und ionisierender Strahlung ausgesetzt waren. Nur wenige Studien befassten sich bisher mit den Kombinationseffekten dieser Stoffe. Meistens wurden die Auswirkungen in In-vitro-Experimenten mit umweltirrelevanten Dosen untersucht. Wenig ist auch darüber bekannt welche persistierenden Auswirkungen diese Stoffe auf das Genom und Proteom haben. Dieser Fragestellung ist diese Studie nachgegangen.

2. EINZELZIELSETZUNG

In der Proteomstudie sollen Unterschiede im Proteommuster von unterschiedlich belasteten Patientengruppen im Vergleich mit der Kontrollgruppe (Gruppenexpositionen vgl. Tabelle 1) gezeigt werden und so einen Hinweis auf potenzielle Biomarker geben. Die Studie sollte als Grundlage für eine weiterführende Studie dienen, in der die differenziellen Proteine näher untersucht werden. Das Ziel war, die differenziellen Proteine durch 2D-Gelelektrophorese und vergleichende Bildanalyse zu detektieren. Ausgewählte differenzielle Proteinspots wurden aus präparativen 2D-Gelen ausgestochen und die Proteine mittels MALDI-MS/MS identifiziert.

Aus den gleichen Patientengruppen sollten RNA-Proben mit Agilent Whole Genome Microarrays analysiert werden. Aus den generierten Expressionsdaten sollten Verhältnislisten erstellt und diese mit den Proteomdaten verglichen werden. Zusätzlich sollten Pathway-Analysen erstellt werden (Unterauftragnehmer Miltenyi).

In einer vorherigen Proteomstudie wurde in In-vitro-Versuchen gezeigt, dass die Belastung mit Arsen und/oder radioaktiver γ -Strahlung Effekte auf das Proteom von humanen lymphoblastoiden Zellen hat. Es wurde ein signifikant verändertes Expressionsmuster für sieben Proteine gefunden, welche zum Teil eine Schlüsselrolle in Stoffwechsel- und Regulationsprozessen haben (z. B. Precursor der Proteasom-Untereinheit $\beta 4$, Glutathion Transferase $\omega 1$). Die Expositionen einzeln oder in Kombination miteinander zeigten hierbei unterschiedliche Effekte. Diese Ergebnisse sollten nun in vivo reproduziert werden.

3. METHODIK

Die Blutproben der ehemaligen Wismut-Beschäftigten wurden vor Ort in den Untersuchungszentren der Bergbaugenossenschaft entnommen und per Kurier innerhalb von 24 h an die Protagen AG versendet. Hier wurden die peripheren mononucleären Blutzellen (PBMC) präpariert, aufgeteilt und daraus die Proteine extrahiert. Die Anzahl und die Kriterien der Probanden der Studiengruppen sind in Tabelle 1 gezeigt. Von den Proteinen wurden hochauflösende 2D-Gele angefertigt. Differentielle Spots wurden aus präparativen 2D-Gelen isoliert und mittels MALDI-MS/MS (Matrix-unterstützte Laser-Desorption / Ionisation - Massenspektrometrie) identifiziert.

Ein Teil der mononukleären Blutzellen (PBMC) wurde für die mRNA-Analysen an den Unterauftragnehmer Miltenyi weitergeleitet.

Tabelle 1:
Zahl und Kriterien der Probanden je Studiengruppe

	Keine As-exposition	Keine As-exposition	As-Exposition	As-Exposition
Studiengruppe	A	B	C	D
	Kontrolle (0 As und 0 WLM*)	Hoch strahlenexponiert (> 500 WLM*)	Hoch As (> 200- < 600 µgSj [#]) und niedrig strahlenexponiert (< 50 WLM*)	Hoch As (> 200- < 600 µgSj [#]) und hoch strahlenexponiert (> 500 WLM*)
Probanden	10	10	6	10

* WLM = Working Level Month

µgSj = Mikrogramm Staubjahre

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 2D-GELELEKTROPHORESE

4.1.1 Zellyse

Die Zellyse der Proben wurde mit Ultraschall in Anwesenheit von Proteaseinhibitoren und CHAPS in Phosphatpuffer durchgeführt. Für die isoelektrische Fokussierung wurde der Probe Harnstoff und Thioharnstoff in einer Endkonzentration von 7 M bzw. 2 M zugesetzt. Für die Denaturierung der Proteine wurde 65 mM Dithiothreitol (DTT) zugesetzt. Die Homogenate wurden bei 226.000 xg für 30 min bei Raumtemperatur zentrifugiert und der Überstand für die Analyse verwendet.

4.1.2 Proteinquantifizierung

Die Proteinmenge der Proben wurde vor der Analyse nach Popov bestimmt. Jede Probe wurde in Doppelbestimmung gemessen und direkt vor Auftragung auf die IEF-Röhrchen mit den Carrierampholyten 2-4 mit einer Endkonzentration von 2% versetzt.

4.1.3 Isoelektrische Fokussierung (IEF)

Die isoelektrische Fokussierung wurde nach der Methode von Klose durchgeführt. Die Röhrchengele enthalten 9 M Harnstoff, 3,5% Acrylamid, 0,3% Piperazin Diacrylamid und 4% Carrier Ampholyte pH 2-11. Die Proben wurden an der anodischen Seite auf die Gelröhrchen aufgetragen und unter non-equilibrium Bedingungen fokussiert (NEPHGE).

4.1.4 SDS-PAGE (Natriumdodecylsulfat-Polyacrylamidgelelektrophorese)

Die IEF-Gele wurden nach der Fokussierung auf SDS-Gele der Maße 0,75 250 300 mm³ platziert. Die SDS-Gele enthalten 15% Acrylamid und 0,2% Bisacrylamid. Die Proteine wurden gemäß ihres Molekulargewichtes in einem Puffersystem aus 25 mM Tris, 192 mM Glycin und 0,1% SDS aufgetrennt.

4.1.5 Protein Silberfärbung

Die getrennten Proteine wurden mittels modifizierter Silberfärbung nach Heukeshoven gefärbt, um die höchstmögliche Sensitivität zu erreichen.

4.2 DATENAUSWERTUNG

Für die Bestimmung differentieller Proteinexpression wurden die 2D-Gele mit der Delta2D Software ausgewertet.

4.3 PROTEINIDENTIFIZIERUNG

4.3.1 Probenvorbereitung

Die ausgewählten Proteinspots wurden aus dem präparativen Gel ausgeschnitten. Anschließend wurden die Gelstücke dreimal mit 15 µl 10 mM NH_4HCO_3 und 5 mM NH_4HCO_3 /50% Acetonitril gewaschen. Nach dem Trocknen wurde Trypsinlösung (33 ng/µl in 10 mM NH_4HCO_3 , pH 7,8) hinzugegeben und der Verdau für mehrere Stunden bei 37°C durchgeführt. Die resultierenden Peptide wurden mit 0,1% Trifluoressigsäure (TFA) aus den Gelstücken extrahiert und unter Verwendung von C18 Material (ZipTip™, Millipore, Bedford, MA, USA) gereinigt.

4.3.2 MALDI-MS/MS

Spektren wurden mit einem Ultraflex III TOF/TOF Massenspektrometer (Bruker Daltonics) aufgenommen. Bei Peptide Mass Fingerprint Massenspektren (PMF, MS) wurden jeweils 200 Einzelspektren aufsummiert und zur Signaldetektion der SNAP-Algorithmus verwendet. Die resultierenden Massenlisten wurden zur Proteinidentifizierung in die Proteinscape™-Datenbank importiert. Falls möglich, wurden zusätzlich Peptid Fragment Spektren (PFF, MS/MS) aufgenommen. Die zur Fragmentierung verwendeten Massen wurden von der Proteinscape-Datenbank auf Grund der PMF-Proteinidentifizierung ausgewählt.

4.3.3 Proteinidentifizierung

Die Proteinidentifizierung wurde durchgeführt, indem die Massenspektren mit mehreren Suchalgorithmen (ProFound™, Mascot™, Sequest™) gegen die NCBI Protein Datenbank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) gesucht wurden. Die Massentoleranz wurde bei PMF-Spektren auf 50 ppm gesetzt. Zur Bewertung der Proteinidentifizierung wurde der Metascore verwendet, der von der Proteinscape™-Datenbank aus den einzelnen Suchergebnissen der Suchalgorithmen berechnet wurde. Zusätzlich wurde das Scoring mittels manueller Bewertung der Spektren und der Proteinidentifizierung verifiziert. PFF-Spektren wurden verwendet, um entweder die PMF-Proteinidentifikation zu verifizieren oder um Proteine zu identifizieren, bei denen das PMF-Spektrum zu keiner Proteinidentifizierung geführt hat.

4.4 MICROARRAYANALYSE (UNTERAUFTRAGNEHMER MILTENYI)

Die Proben wurden mit Agilent Whole human Genome Microarrays analysiert und die Signalintensitäten bestimmt. Zur bioinformatischen Auswertung der generierten Expressionsdaten wurden die erhaltenen Daten vorprozessiert und Verhältnislisten erstellt. Der Vergleich erfolgte von Gruppe B bis D mit der Kontrollgruppe A. Zudem wurden geeignete bioinformatischen Methoden zur Analyse der generierten Daten angewendet.

5. ERGEBNISSE

5.1 PROTEOMANALYSE MITTELS 2D-GELELEKTROPHORESE

5.1.1 Studiendesign

Die Blutentnahme, Transport und Blutaufarbeitung wurde wie in den Methoden beschrieben durchgeführt und Aufarbeitung von Blutproben ehemaliger Wismut-Beschäftigter durchgeführt. Die erhaltenen Proben wurden mittels hochauflösender 2D-Gelelektrophorese aufgetrennt und die Proteinspots durch Anfärbung visualisiert. Für jede Probe wurden zwei technische Replikate angefertigt.

Auf die gleiche Weise wurden 2D-Gele aller in Gruppe A eingeflossenen Probanden erstellt. Die digitalisierten Gelbilder wurden einer vergleichenden Bildauswertung unterzogen, in der die Proteinspots aller Gele einander zugeordnet und relativ quantifiziert wurden. Im Meilenstein 4 wurden die differenziellen und potenziell differenziellen Proteinspots mittels MALDI-MS/MS identifiziert.

Parallel dazu wurden im Meilenstein 5 und 6 vom Unterauftragnehmer Miltenyi von den gleichen Proben Microarrays und die bioinformatische Auswertung durchgeführt.

5.1.2 Auswertekriterien

Auf Grund von Erfahrungen bei früheren Studien wurden zwei Grenzwerte für die Ermittlung der Anzahl der differenziellen Proteinspots betrachtet. Als differenziell wurden Proteinspots benannt, die ein Intensitätsverhältnis von $\leq 0,5$ bzw. $\geq 2,0$ aufweisen. Dies bedeutet, dass dieses Protein in seiner Intensität um das Zweifache schwächer oder stärker als in der Kontrollgruppe A detektiert wurde. Als potenziell differenziell wurden die Proteinspots benannt, die ein Intensitätsverhältnis von $0,5 < x \leq 0,6$ bzw. $1,7 \leq x < 2,0$ aufweisen. Eine

t-test Analyse war auf Grund der begrenzten Anzahl der Replikate (3 Gele pro Gruppe) nicht aussagekräftig. Dennoch wurde ein t test mit $n=3$ durchgeführt, um die Spots nach Ihrer Unterschiedlichkeit zu sortieren.

5.1.3 Zusammenfassung der Vergleiche

1.029 Proteinspots wurden zwischen den Proben quantitativ ausgewertet. Insgesamt wurden 51 unterschiedliche Proteine in mehreren Vergleichen als differenziell bzw. potenziell differenziell erkannt (Tabelle 2). Einige Proteine wurden in mehr als einem Vergleich als differenziell detektiert. Der mittlere Variationskoeffizient über alle 4 Gruppen beträgt 24,7%.

Tabelle 2:
Anzahl differentieller Proteine im Vergleich zur Gruppe A

Grenzwerte der Intensitätswerte	Anzahl differentieller Spots im Vergleich zu Gruppe A		
	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D
$\leq 0,5$	2	14	4
$\geq 2,0$	1	17	3
$0,5 < x \leq 0,6$	5	13	4
$1,7 \leq x < 2,0$	5	2	1

5.2 PROTEINIDENTIFIZIERUNG

Insgesamt wurden 88 Spots von 51 differentiellen Proteinen aus mehreren Gelen isoliert. Von diesen 51 differentiellen Spots wurden 43 Proteine identifiziert. 3 Spots konnten auf Grund geringer Proteinmengen nicht aus dem Gel isoliert werden. Für 5 Spots war auf Grund geringer Proteinmengen eine erfolgreiche Identifizierung nicht möglich.

Einige Proteine wurden in mehr als einem Vergleich als differenziell detektiert. Zwei Proteine wurden in allen drei Vergleichen als differenziell bestimmt, wovon eines herunterreguliert (Ratio 0,388-0,520; TLN1) und ein weiteres hochreguliert wurde (Ratio 2,151-3,055; HSPA1B). 14 Spots kommen in zwei Vergleichen als differenziell vor. Die Ratios dieser Spots sind in allen Fällen miteinander vergleichbar. Einige Spots wurden mehrfach den gleichen Proteinen zugeordnet (FLNA= Filamin; TLN1= Talin; VCL= Vinculin). Die meisten differentiellen Proteine waren in dem Vergleich der Gruppen A und C zu finden. Der maximale Regulationsfaktor für ein hochreguliertes Protein betrug 3,529 (Vergleich A zu C); für ein herunterreguliertes Protein 0,082 (12fach herunterreguliert; Vergleich A zu C). Ein großer Teil der in den Proteomanalysen als reguliert detektierten Proteine sind dem Cytoskelett zuzuordnen.

5.3 MICROARRAYANALYSE (UNTERAUFTRAGNEHMER MILTENYI)

Im Vergleich der Gruppe B zu A sind die hochregulierten Reporter keiner bestimmten Gruppe zuzuordnen. Unter den herunterregulierten Reportern finden sich Proteine, welche in Entwicklungsprozessen, in der Signalweiterleitung, in der Cytokin-Cytokin Rezeptor-Interaktion und in immunbezogenen Prozessen von Bedeutung sind.

Im Vergleich der Gruppe C zu A sind B-Zell-Marker hochreguliert. Die herunterregulierten Reporter sind hauptsächlich der Signalweiterleitung, Entzündungsprozessen, dem Zellzyklus und dem programmierten Zelltod zuzuordnen.

Im Vergleich D zu A sind Reporter der Keratinisierung, viraler Infektion, Cytochrom P450 und mRNA Processing hochreguliert. Unter den herunterregulierten Reportern sind hauptsächlich Proteine der extrazellulären Matrix zu finden.

Die mittels Microarray und 2D-Gelelektrophorese/Proteinidentifizierung ermittelten Daten wurden miteinander verglichen. Der Vergleich der Daten zeigt keinen Overlap.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Mit den Ergebnissen dieses Forschungsvorhabens werden Literaturrecherchen nun Klarheit über die Funktion und die Rolle der Gene und Proteine bei der Reaktion der Zelle auf die Exposition mit Arsen und/oder

Strahlung geben und helfen Biomarker zu etablieren. Durch Folgestudien soll es möglich werden, Bioproben auf ihre Expositionsart und -dosis hin zu untersuchen, um so die tatsächliche Belastung einer Person retrospektiv ermitteln zu können.

Thema Erfassung von Daten aus Unterlagen des Gesundheitsdatenarchivs Wismut / GDAW) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) im Rahmen der epidemiologischen Wismut-Studien des BfS			
Subject <i>Acquisition of data from the Wismut Health Archives of the German Federal Institute for Occupational Safety and Health on demand by the epidemiological Wismut studies of the BfS</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3608S04540	Beginn 01.04.2008	Ende 30.09.2009	Fördermittel EUR 48.457,-
Forschungs- / Auftragnehmer Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Berlin			
Projektleitung Dr. J. Gellissen	Fachbetreuung BfS Dr. A. Tschense / AG-SG 1.3		verantwortlich für den Text Dr. A. Tschense

1. ZIELSETZUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz benötigt zur Durchführung einer Kohortenstudie an etwa 64.000 ehemaligen Wismutbeschäftigten die Unterstützung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), die allein die Akten, Daten und Archive des Wismut-Gesundheitsdatenarchivs (GDAW) verwaltet und nutzt, in denen die vom BfS benötigten Informationen enthalten sind.

2. EINZELZIELSETZUNG

In dem Vorhaben waren die folgenden zwei Aufgaben zu bearbeiten:

1. Im GDAW sollten Todesursachen und dem BfS bisher nicht bekannte Wohnanschriften von 800 verstorbenen oder nicht ermittelbaren Wismutbeschäftigten recherchiert werden.
2. Für 300 ehemalige Wismutbeschäftigte sollte im GDAW nach Informationen zum Rauchverhalten recherchiert werden.

3. METHODIK

Zur Erreichung der Einzelziele wurden die Akten des GDAW von der BAuA nach folgenden Vorgaben durchgesehen.

1. Das BfS stellt der BAuA Vor- und Nachname, evtl. frühere Namen, Geburtsdatum und (soweit bekannt) Geburtsort, alle dem BfS bekannten Adressen, letzte Tätigkeit, Beschäftigungsbeginn und -ende bei der Wismut sowie (soweit bekannt) Todesdatum und -ort der betroffenen Personen zur Verfügung. Die BAuA recherchiert im GDAW nach Todesursachen und evtl. neuen Adressen und übergibt dem BfS die recherchierten Daten in einer Exceldatei.
2. Das BfS stellt der BAuA in einer Access97-Datenbank Vor- und Nachname sowie Geburtstag und ggf. Geburtsort der bezüglich des Rauchverhaltens zu recherchierenden Personen zur Verfügung. Die BAuA erfasst aus ihren Unterlagen für das BfS die in der Datenbank recherchierten Informationen zum Rauchverhalten. Die Access97-Datenbank wird dem BfS nach Eingabe der recherchierten Daten übergeben.

4. DURCHFÜHRUNG

Nachdem eine Auswertung der bislang vorhandenen Daten zu den Rauchgewohnheiten der Wismutbeschäftigten gezeigt hatte, dass eine weitere Erhebung von Raucheranamnesen voraussichtlich keinen weiteren Informationsgehalt erbringen wird, wurde vom BfS entschieden, keine Recherchen durch die BAuA bezüglich des Rauchverhaltens (Einzelziel 2.2) durchführen zu lassen. Da in der Wismut-Kohortenstudie mittlerweile neue Personen mit fehlenden Todesursachen vorlagen, wurde die BAuA deshalb vom BfS gebeten, mit den nun frei gewordenen Mitteln anstelle der Recherchen zum Rauchverhalten nunmehr weitere Recherchen zu den Todesursachen der Kohortenmitglieder (Einzelziel 2.1) durchzuführen.

Die BAuA lieferte dem BfS deshalb im Berichtszeitraum Daten für insgesamt 1.031 (800 plus zusätzliche 231) Personen mit recherchierten Todesursachen oder Adressen.

5. ERGEBNISSE

Tabelle 1 gibt einen Überblick über den Informationsgewinn in der Wismut-Kohortenstudie infolge der Todesursachen- und Adressenrecherche der BAuA.

Tabelle 1:
Informationsgewinn durch die Recherchen im GDAW

Gewonnene Information	Anzahl	%
Todesursachen im GDAW ermittelt	89	8,6%
Todesursache über neue Adresse / sonst. Information ermittelt	64	6,2%
Vitalstatus: Todesdatum im GDAW ermittelt	19	1,8%
Vitalstatus: Todesdatum über neue Adresse / sonst. Information ermittelt	77	7,5%
Vitalstatus: „lebend“ über neue Adresse / sonst. Information ermittelt	42	4,1%
Sonstige Information im GDAW ermittelt	14	1,4%
Sonstige Information über neue Adresse ermittelt	74	7,2%
Neue Adresse im GDAW ermittelt	214	20,8%
Kein neuer Informationsgewinn	438	42,5%
Insgesamt	1.031	100%

Für 153 Personen (14,8%) konnten die Todesursachen - entweder direkt aus den Unterlagen des GDAW (n = 89) oder über dort vermerkte neue Adressen oder sonstige Informationen, wie richtige Namensschreibweise, geänderter Nachname, Geburtsort oder korrigiertes Geburtsdatum (n = 64) auf dem üblichen Weg über Einwohnermeldeämter (EMA) und Gesundheitsämter (GA) - ermittelt werden. Besonders positiv zu bewerten ist dabei die Tatsache, dass die im GDAW gefundenen Todesursachen in den meisten Fällen auf einem Autopsiebefund beruhen und das Todesdatum bei sehr vielen Personen so weit zurück liegt, dass die Aufbewahrungsfristen der Totenscheine in den GA bereits abgelaufen sind und demnach diese Todesursachen auf dem üblichen Wege nicht mehr zu ermitteln gewesen wären.

Der Vitalstatus konnte durch die BAuA-Recherchen für insgesamt 138 Personen (13,4%) geklärt werden. So konnte in 96 Fällen ein Todesdatum (in 19 Fällen direkt aus den Unterlagen des GDAW und in 77 Fällen über eine neue Adresse oder eine sonstige Information über Auskunftersuchen bei den EMA) ermittelt werden, in 42 Fällen konnte der Vitalstatus „lebend“ ebenfalls über eine neue Adresse oder eine sonstige Information über Anfragen bei den EMA ermittelt werden. Wie bereits oben erwähnt, war es bei den 96 Fällen mit bekanntem Todesdatum in nahezu allen Fällen nicht möglich, die Todesursache zu ermitteln, da das Todesdatum dieser Fälle schon so lange zurück lag, dass die Aufbewahrungsfristen bei den GA bereits abgelaufen waren.

In weiteren 88 Fällen konnten andere neue Informationen gefunden werden, z. B. konnte die Identität von Personen oder ihr Geschlecht geklärt werden, oder es konnte die Beobachtungszeit von Personen in der Kohortenstudie, z. B. infolge der Kenntnis eines dokumentierten Klinikaufenthalts, verlängert werden.

Für weitere 20,8% der Personen (n = 214) wurden dem BfS bisher nicht bekannte Adressen übermittelt, die jedoch nicht zur Aufklärung des Vitalstatus beitragen konnten. 438 Personen wurden zwar im GDAW gefunden, jedoch konnte aus den dort vorhandenen Unterlagen kein neuer Informationsgewinn erzielt werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die von der BAuA gelieferten Daten bilden zusammen mit anderen Informationen die Grundlage für Auswertungen, die im Zusammenhang mit der Wismutstudie vom BfS durchgeführt werden. Die Wismutstudie dient der Untersuchung und Quantifizierung möglicher gesundheitlicher Effekte der Strahlenexposition bei ehemaligen Wismutbeschäftigten und somit der Erreichung des Teilziels 1.1 der Zielvereinbarung zwischen BfS und BMU „Das Risiko niedriger Strahlenexposition ist neu bewertet“.

Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

Subject area 02
Radiation protection techniques

Thema Personendosimetrie mit elektronischen Personendosimetern in gepulsten Strahlungsfeldern			
Subject <i>Individual monitoring with electronic personal dosemeters in pulsed radiation fields</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3608S02002	Beginn 01.12.2008	Ende 30.04.2009	Fördermittel EUR 67.841,-
Forschungs- / Auftragnehmer TU Dresden Institut für Kern- und Teilchenphysik, AG Strahlungsphysik, Dresden			
Projektleitung PD Dr. J. Henniger	Fachbetreuung BfS AG-SG 2.2 / A. Rimpler	verantwortlich für den Text K. Helbig, A. Jahn, U. Kriesten, E. Pönitz, U. Reichelt, M. Sommer	

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen des Projekts wurden die Ursachen für unkorrekte Messungen bzw. das Versagen von elektronischen Personendosimetern (EPD) mit Silicium-Halbleiterdetektoren in gepulsten Strahlungsfeldern ermittelt. Weiterhin wurden Vorschläge zu technischen Möglichkeiten für Weiterentwicklungen zur Verbesserung der Zuverlässigkeit von EPD in gepulsten Strahlungsfeldern erarbeitet.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 FESTSTELLUNG DERZEITIGER EINSATZGRENZEN

Zunächst wurden einige häufig verwendete EPD anhand von Herstellerangaben und bereits durchgeführten Studien auf ihre Eignung für Messaufgaben in gepulsten Strahlungsfeldern untersucht. Damit lassen sich für einen weiten Einsatzbereich Aussagen über die Einsatzfähigkeit von EPD treffen.

2.2 THEORETISCHE UNTERSUCHUNGEN

Ausgehend vom bekannten Messprinzip bei EPD mit Si-Halbleiterdetektoren wurde das Auftreten von verringerten Messwerten auf Grund von Totzeitverlusten theoretisch modelliert. Damit können bei bekannten Geräteparametern und Kenntnissen über das Strahlungsfeld quantitative Aussagen über das relative Dosisan-sprechvermögen und damit die Einsatzfähigkeit der einzelnen EPD getroffen werden.

3. METHODIK

3.1 GRUNDLAGEN FÜR TOTZEITVERLUSTE

In EPD mit Si-Halbleiterdetektoren wird die Personendosis über das Auszählen von Einzelereignissen ermittelt. Zur Vereinfachung wird im Folgenden angenommen, dass jedes detektierte Ereignis den gleichen konstanten Beitrag g zur Dosisanzeige liefert. Dieser Kalibrierungsfaktor ist abhängig vom Dosimetertyp und wird für jedes Gerät individuell bestimmt.

Jedes vom Si-Halbleiterdetektor gemessene Signal muss verstärkt und ausgewertet werden. Ein während dieser Verarbeitungsphase auftretendes Wechselwirkungsereignis wird entweder nicht detektiert oder führt zu einem größeren Gesamtsignal (Pile-Up-Effekt). Der minimale zeitliche Abstand, ab dem zwei aufeinander folgende Ereignisse getrennt detektiert werden, ist geräteabhängig und wird als Totzeit τ bezeichnet. Sie liegt für EPD typischerweise bei einigen Mikrosekunden.

Die Kombination von Totzeit und Kalibrierungsfaktor bestimmen die maximal zuverlässig messbare Dosisleistung. Zur Bewertung des Totzeitverlustes bei einer vorgegebenen Dosisleistung wird das relative Ansprechvermögen

$$k(\dot{H}_p) = \frac{\dot{H}_{p,a}}{\dot{H}_p} \quad (1)$$

als Verhältnis von angezeigter Dosisleistung $\dot{H}_{p,a}$ und Dosisleistung im Strahlungsfeld $\dot{H}_p$ definiert. Im Fall eines stationären Strahlungsfeldes ist das relative Ansprechvermögen

$$k(\dot{H}_p) = \frac{1}{1 + \dot{H}_p \cdot \frac{\tau}{g}} \quad (2)$$

durch die Totzeit τ und den Kalibrierungsfaktor g festgelegt. Aus diesem Ausdruck folgt insbesondere, dass ein Dosimeter in einem stationären Strahlungsfeld ab einer Dosisleistung von

$$\dot{H}_p^{80\%} = \frac{g}{4\tau} \quad (3)$$

höchstens 80% der Dosis detektieren kann.

In gepulsten Strahlungsfeldern ist Gleichung (2) jedoch nicht gültig. Stattdessen ist das relative Ansprechvermögen neben den Dosimeterparametern in komplizierter Form von der Pulsform und -länge sowie vom Produkt aus Pulsdauer und Wiederholfrequenz (Tastverhältnis) abhängig.

3.2 MODELLIERUNG VON TOTZEITVERLUSTEN

Die Bestimmung des relativen Ansprechvermögens ist auf Grund der stochastischen Natur des zu Grunde liegenden Messprozesses nur in Spezialfällen analytisch möglich. Im Allgemeinen ist eine Berechnung nur mit numerischen Methoden wie Integration oder Monte-Carlo-Simulation (MC-Simulation) möglich.

Da die zählende Messung in einem EPD ein stochastischer Prozess ist, kann dieser optimal durch eine MC-Simulation modelliert werden. Das Auftreten von Messereignissen bildet einen inhomogenen Poissonprozess. Der Totzeitverlust wird durch Nachbildung des Totzeitverhaltens im Detektor praktisch ermittelt.

Das erste Ereignis wird immer detektiert. Für die Totzeit τ ist der Detektor nicht in der Lage, weitere Impulse zu registrieren. Das Verhältnis von Ereignisanzahl zur Zahl detektierter Ereignisse ergibt das relative Ansprechvermögen κ .

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUSWERTUNG VON HERSTELLERDATEN UND EINSATZSTUDIEN

In Tabelle 1 sind die von den Dosimeterherstellern angegebenen Einsatzgrenzen typischer EPD angegeben. Tabelle 2 enthält neben typischen Pulsparametern mittlere Dosis- und Dosisleistungswerte in medizinischen Strahlungsfeldern. Diese Werte sind jeweils für einen Meter Abstand vom Röhrenfokus angegeben. Bei der hier betrachteten Photonenstrahlung entspricht eine Energiedosis von einem Gray einer Äquivalentdosis von einem Sievert.

Tabelle 1: Messbereiche von Dosisleistung und Dosis verschiedener EPD für stationäre Strahlungsfelder

	Dosilab EDM-III	MGP DMC 2000X	Thermo EPD-N2	Thermo EPD-Mk2
$\dot{H}_p(10)$ in mSv/h	$10^{-3} - 10^4$	$10^{-3} - 10^4$	$10^{-3} - 4 \cdot 10^3$	$10^{-3} - 4 \cdot 10^3$
zufällige Messunsicherheit in %	15	30	20 – 50	20 – 50
$H_p(10)$ in mSv	$10^{-3} - 10^3$	$10^{-3} - 10^4$	$10^{-3} - 1,6 \cdot 10^4$	$10^{-3} - 1,6 \cdot 10^4$

Tabelle 2: Technische Parameter medizinischer Röntgeneinrichtungen und Therapiebeschleuniger (im Nutzstrahl)

	Diagnostik periodisch gepulst	Diagnostik Einzelpuls	Therapie
Pulsdauer in ms	3 – 200	1 – 6000	$3 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$
Wiederholfrequenz in Hz	1 – 50	–	10 – 500
mittl. Dosisleistung in Gy/h	0,1 – 20	–	10 – 300
typ. Dosis pro Puls in mGy	1	3	0,2
Pulsdosisleistung in Gy/h	bis 300	bis 200	bis $2,5 \cdot 10^5$

Die Pulsdosisleistungen im Nutzstrahl überschreiten die angegebenen Messgrenzen zum Teil um mehrere Größenordnungen. Bei einer einfachen Bewertung nach (2) und (3) müsste ein Einsatz daher ausgeschlossen werden. Unter Berücksichtigung der gepulsten Natur der Strahlung kann jedoch belegt werden, dass der Einsatz der EPD in bestimmten Fällen auch im Nutzstrahl möglich ist.

Zur Bewertung der Einsatzfähigkeit der EPD im Streustrahlungsfeld von gepulsten Strahlenquellen wurden eine gemeinsame Studie von IAEA und EURADOS sowie eine Untersuchung im Rahmen des CONRAD-Projekts der EU herangezogen. Die verwendeten Strahlungsfelder sind in Tabelle 3 charakterisiert und entsprechen Streustrahlungsfeldern an diagnostischen Röntgeneinrichtungen.

Tabelle 3: Parameter der gepulsten Röntgenstrahlung für die Untersuchung von EPD durch IAEA/EURADOS und im CONRAD-Projekt

	IAEA/EURADOS		CONRAD
Anodenspannung in kV	60	120	70
Pulsdauer in ms	1600		100
Dosis pro Puls in mSv	0,75	0,66	0,112
Dosisleistung im Puls in Sv/h	1,68	1,49	4,03

Die Ergebnisse der Studien für die untersuchten Dosimeter sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Die angezeigte Dosis unterschreitet die tatsächliche Dosis um weniger als 20%. Dies ist konsistent mit der Tatsache, dass die Dosisleistung im Puls in allen Testfällen sogar innerhalb der Einsatzgrenzen der EPD für stationäre Strahlungsfelder lag.

Tabelle 4: Relative Personendosis der untersuchten EPD in gepulsten Feldern

	IAEA/EURADOS		CONRAD
Anodenspannung in kV	60	120	70
$H_p / H_{p,Ref}$ für MGP DMC 2000X	0,85	1,2	1,25
$H_p / H_{p,Ref}$ für Thermo EPD-Mk2	0,82	1	0,85
$H_p / H_{p,Ref}$ für Dosilab EDM-III	-	-	1,17

Die untersuchten Studien weisen darauf hin, dass in gepulsten Strahlungsfeldern der Einsatz elektronischer Personendosimeter möglich sein kann. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass mit den zu Grunde gelegten hohen Werten für die Pulsdauer viele Anwendungen gepulster Röntgenfelder unberücksichtigt blieben. Im folgenden Abschnitt werden theoretische Modelle für die quantitative Bestimmung der Einsatzgrenzen von EPD in gepulsten Strahlungsfeldern vorgestellt.

4.2 THEORETISCHE UNTERSUCHUNGEN

Elektronische Personendosimeter weisen wie alle zählenden Detektoren eine Totzeit τ auf. Dies führt zu einer Verringerung der gemessenen Dosis. Der Zusammenhang zwischen vorhandener Dosisleistung $\dot{H}_p$ und verringertem Messwert $\dot{H}_{p,a}$ wird durch das in (1) definierte relative Ansprechvermögen κ beschrieben.

Für dieses sind sowohl für stationäre als auch für beliebige gepulste Strahlungsfelder formale Ausdrücke bekannt. Diese sind jedoch meist nur durch numerische Integration auswertbar. Eine alternative Bestimmung des relativen Ansprechvermögens ist über eine Monte-Carlo-Simulation des Messvorgangs möglich.

Für den praktischen Einsatz wurde im Rahmen dieses Projekts eine einfache Näherungsformel für das relative Ansprechvermögen in gepulsten Strahlungsfeldern mit konstanter Dosisleistung im Puls $\dot{H}_p^p$ (Rechteckpuls) hergeleitet. Solange die Totzeit τ kleiner als die Länge des Strahlungspulses T ist, wird das Ansprechvermögen

$$k(\dot{H}_p^p) = \frac{1}{1 + \dot{H}_p^p \cdot \frac{\tau}{g}} \cdot \left(1 + \frac{\dot{H}_p^p \cdot \frac{\tau}{g}}{1 + \dot{H}_p^p \cdot \frac{\tau}{g}} \cdot \frac{\tau}{2T} \right) \quad (4)$$

durch die EPD-Parameter Kalibrierfaktor g und Totzeit sowie durch die Pulsdauer vollständig bestimmt. Die Abweichung der Näherungsformel von den Ergebnissen der MC-Simulation ist stets kleiner als 1%.

In medizinischen Therapiebeschleunigern ist die Pulsdauer allerdings typischerweise kleiner als die Totzeit. Bei derart kurzen Pulsen ist das Ansprechvermögen

$$k(H_p^p) = \frac{g}{H_p^p} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{H_p^p}{g}\right) \right) \quad (5)$$

unabhängig von der Pulsform und der Dosisleistung. Ausschlaggebend ist allein das Verhältnis von der Dosis je Puls H_p^p zum Kalibrierungsfaktor g . Ab einer Pulsdosis von $H_p^p = g/2$ tritt dann ein Totzeitverlust von etwa 20% auf.

4.3 EINSATZGRENZEN FÜR BEISPIELSZENARIEN

Nachfolgend werden Beispiele für Dosimeter des Typs EDM-III vorgestellt. Diese beruhen auf den Dosimeterparametern

$$g = 28 \text{ nSv}$$

$$\tau = 5,7 \text{ } \mu\text{s},$$

welche von der Firma Dosilab zur Verfügung gestellt wurden.

4.3.1 Diagnostische Röntgeneinrichtung

Zur Bestimmung des relativen Ansprechvermögens einer diagnostischen Röntgeneinrichtung mit gepulstem Strahlungsfeld wurde ein Rechteckpuls mit Pulsdauer $T = 50 \text{ ms}$ und Wiederholfrequenz $f = 5 \text{ Hz}$ ange-
setzt.

Das Tastverhältnis beträgt $T \cdot f = 0,25$. Die mittlere Dosisleistung ist über $\bar{\dot{H}}_p = T \cdot f \cdot \dot{H}_p^p$ mit der Pulsdosisleistung $\dot{H}_p^p$ verknüpft. Da eine rechteckige Pulsform vorliegt, wird die empirische Näherung (5) verwendet. Es ergibt sich die in Abbildung 1 dargestellte Abhängigkeit.

Eine Abweichung von 20% tritt ab einer mittleren Dosisleistung von 1,1 Sv/h auf. Die an diagnostischen Röntgeneinrichtungen auftretende Pulsdosisleistung beträgt nach Tabelle 2 maximal 300 Sv/h. Das Verhältnis von Streu- und Störstrahlung zur Primärstrahlung beträgt nach DIN 6812 Anhang A bei Betriebsspannungen $< 250 \text{ kV}$ im Abstand von 50 cm höchstens 0,016. Die Pulsdosisleistung der zu erwartenden Stör- und Streustrahlung überschreitet dann $\dot{H}_p^s = 4,8 \text{ Sv/h}$ unter keinen Umständen.

Die zugehörige mittlere Dosisleistung $\dot{H}_p^s = 1,2 \text{ Sv/h}$ entspricht für das EDM-III einem Totzeitverlust von 21%. Aus physikalischer Sicht ist dieses Dosimeter demnach an diagnostischen Röntgeneinrichtungen außerhalb des Nutzstrahls uneingeschränkt einsatzfähig.

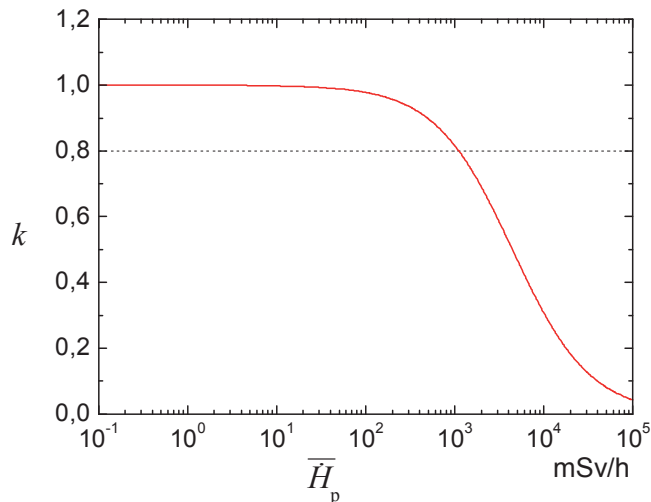


Abbildung 1:
Relatives Ansprechvermögen des Dosimeters EDM-III im Strahlungsfeld einer diagnostischen Röntgeneinrichtung in Abhängigkeit von der mittleren Dosisleistung

4.3.2 Medizinischer Beschleuniger

Beispielhaft für einen medizinischen Beschleuniger wurden die Parameter $T = 3 \mu\text{s}$ und $f = 100 \text{ Hz}$ ausgewählt. Die Pulsdauer der Beschleunigeranlage ist sehr kurz im Vergleich zur Totzeit der Dosimeter. Die Pulsform hat somit keinen Einfluss auf den Totzeitverlust. Für das Ansprechvermögen gilt Gleichung (6), mit $\dot{H}_p = f \cdot H_p^p$. Der Verlauf ist in Abbildung 2 dargestellt.

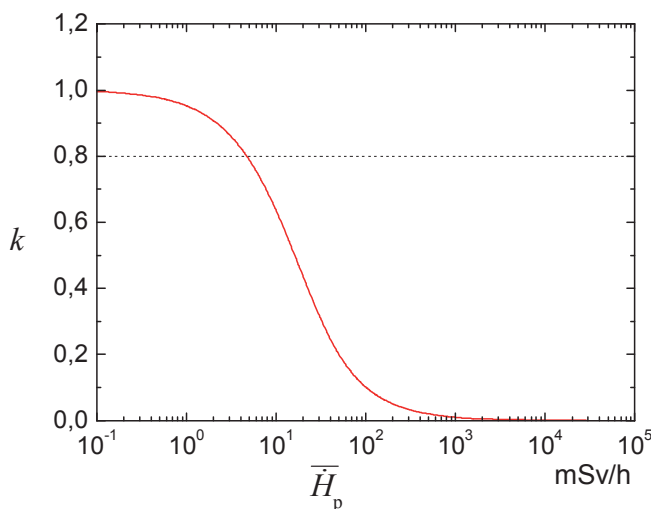


Abbildung 2:
Relatives Ansprechvermögen k des Dosimeters EDM-III im Strahlungsfeld eines medizinischen Therapiebeschleunigers in Abhängigkeit von der mittleren Dosisleistung

Eine Unterschätzung der Dosis um mehr als 20% tritt in diesem Fall ab einer mittleren Dosisleistung von etwa 4,6 mSv/h auf. Dies liegt etwa vier Größenordnungen unterhalb der mittleren Dosisleistung medizinischer Beschleunigeranlagen im Primärstrahl. Jedoch liegt der Wert noch jenseits des Grenzwerts von 3 mSv/h, ab dem laut StrlSchV ein Sperrbereich beginnt.

Bei dieser Grenzdosisleistung tritt hier ein Totzeitverlust von 13,5% auf. Sowohl im Überwachungs- als auch im Kontrollbereich um den Beschleuniger ist das Dosimeter aus physikalischer Sicht ohne Bedenken einsetzbar.

5. ERGEBNISSE

In diesem Projekt wurde der Einfluss gepulster Strahlungsfelder auf das Ansprechverhalten von elektronischen Personendosimetern (EPD) mit Si-Halbleiterdetektoren herausgearbeitet. Dazu wurden umfangreiche theoretische Untersuchungen durchgeführt sowie experimentelle Studien ausgewertet. Generell sind die untersuchten EPD für Pulsdosisleistungen bis mindestens 4 Sv/h uneingeschränkt einsatzfähig. Unterschreitet

die Breite der Strahlungspulse die Totzeit des EPD, so ist anstelle der Pulsdosisleistung die Dosis je Puls die entscheidende Größe. In diesem Fall ist das Dosimeter uneingeschränkt anwendbar, solange die mögliche Dosis je Puls kleiner als 50% des Kalibrierfaktors beträgt.

Konkret bedeutet dies, dass die untersuchten EPD in allen Stör- bzw. Streustrahlungsfeldern medizinischer Röntgeneinrichtungen ohne Einschränkung verwendet werden können. Anhand der vorgestellten Methoden kann im Einzelfall überprüft werden, ob auch der Einsatz im Nutzstrahl der betroffenen Röntgeneinrichtung möglich ist.

Für rechteckige Strahlungspulse kann dies in Abhängigkeit von der Dosisleistung durch eine einfache empirische Näherungsformel ermittelt werden. Die erforderlichen Dosimeterparameter wurden allerdings nur vom Hersteller Dosilab zur Verfügung gestellt. Im Fall einer beliebigen Pulsform wurde zur Untersuchung des Ansprechvermögens eine Monte-Carlo-Simulation entwickelt. Unter Kenntnis von Totzeit und Kalibrierungsfaktor können damit die Einsatzgrenzen des Dosimeters in beliebigen gepulsten Strahlungsfeldern ermittelt werden. Dies wurde im Rahmen des Projektes am Beispiel eines sinusförmigen Pulsverlaufes demonstriert.

Um den Einsatzbereich von EPD in gepulsten Strahlungsfeldern zu erweitern, ist in erster Linie die maximal messbare Dosisleistung zu erhöhen. Dies kann beispielsweise erreicht werden, indem das aktive Detektorvolumen des Si-Halbleiterdetektors verringert wird, oder eine rechnerische Korrektur von Totzeitverlusten durchgeführt wird. Alternativ können integrierende Dosimeter ohne Totzeitverluste auf Basis von optisch stimulierter Lumineszenz (OSL) bzw. Thermolumineszenz (TL) in Kombination mit einer Auswerteeinheit vor Ort verwendet werden. Ebenso ist es denkbar, ein neuartiges Dosimeter mit Szintillationszähler zu konstruieren, bei dem auf Grund seines schnellen Ansprechverhaltens eine Totzeit von unter 100 ns zu realisieren ist.

Beim Auftragsnehmer sind umfangreiche Vorbereitungen für die experimentelle Bestimmung von Kalibrierfaktoren auch ohne Angaben von Herstellern erfolgt. Die Bestimmung der Referenzdosis erfolgt dabei mit speziell kalibrierten OSL-Detektoren bzw. mit am Bezugsnormaal geeichten Ionisationskammern. Eine Zulassung des OSL-Dosimeters nach IEC 62387-1 für die Messgrößen $H_p(10)$ und $H_p(0,07)$ existiert seit 12/2009, die Bauartzulassung durch die PTB wird im Jahr 2010 angestrebt.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Vorhabens leisten einen Beitrag zur Wahrnehmung der Aufgaben des BMU / RS II 3 bei der Zweckmäßigkeitssupervision des Bundes im Bereich des Strahlenschutzes. Im Mittelpunkt steht hier die Verbesserung der Qualität und Zuverlässigkeit bei der Messung der Personendosis in der operativen Strahlenschutzüberwachung gemäß § 35 RöV bzw. § 41 StrlSchV.

Der Vorschlag des Forschungsnehmers, vom Hersteller Angaben zur Totzeit und zum Kalibrierfaktor als eine Voraussetzung zur Bauartzulassung von elektronischen Dosimetern zu fordern, sollte Bestandteil des Zulassungsverfahrens der PTB werden. Sind diese Parameter bekannt, lässt sich unter Nutzung der im Vorhaben entwickelten Methodik ermitteln, unter welchen Expositionsbedingungen ein Dosimeter auch in gepulsten Feldern zuverlässige Dosiswerte liefert. Auf Ressortebene ist zu klären, ob eine entsprechende Bewertung von EPD zukünftig Bestandteil des Bauartzulassungsverfahrens sein soll. Ziel dieses erweiterten Verfahrens ist es, Aussagen darüber machen zu können, bei welchen Röntgenanwendungen EPD eine hinreichend zuverlässige Ermittlung der Personendosis erlauben und daher ohne Bedenken eingesetzt werden können.

Thema			
Berechnungen der internen und externen Strahlenexposition auf Grundlage von Voxel-Modellen			
Subject			
<i>Calculations of internal and external radiation exposure based on voxel models</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3605S04468	Beginn 01.01.2006	Ende 30.06.2009	Fördermittel EUR 472.909,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München			
Projektleitung M. Zankl	Fachbetreuung BfS Dr. D. Noßke / AG-SG 2.2		verantwortlich für den Text J. Becker, N. Petoussi-Henß, H. Schlattl, M. Zankl

1. ZIELSETZUNG

Dosisabschätzungen bei innerer und äußerer Strahlenexposition basierten bislang auf mathematischen Phantomen, die mit Hilfe relativ einfacher geometrischer Figuren den Menschen und seine Organe beschreiben. In der letzten Zeit ging man mehr und mehr dazu über, diese mathematischen Phantome durch realistischere Voxel-Modelle zu ersetzen und die Dosisabschätzungen auf dieser realistischen Grundlage durchzuführen. Durch die Verwendung von Voxel-Modellen wird eine Verbesserung der Dosisabschätzung für beruflich Strahlenexponierte und Einzelpersonen der Bevölkerung sowie für Patienten erzielt.

Ziele des Vorhabens waren die Berechnung von Organdosen bei äußerer Strahlenexposition durch Umgebungsstrahlung (aus der Luft bzw. vom Boden) für Personen unterschiedlichen Alters mit Hilfe von Voxel-Modellen, die Berechnung von Organdosiswerten in der Computertomographie für Patienten unterschiedlicher Statur und beiderlei Geschlechts mit Hilfe von Strahlentransportrechnungen in Voxel-Modellen sowie die Erstellung des Voxelmodells einer schwangeren Frau zur Ermittlung der Dosis für die schwangere Frau wie für das Ungeborene bei innerer wie äußerer Strahlenexposition.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Einzelnen sollten folgende Fragen und Teilaspekte bearbeitet werden:

2.1 EXTERNE STRAHLENEXPOSITION MIT PHOTONEN

Es sollten Organdosis-Konversionsfaktoren für Voxelphantome von mindestens 3 Kindern unterschiedlicher Altersklassen (gemäß Bundesanzeiger mit Dosiskoeffizienten) bei externer Strahlenexposition mit monoenergetischen Photonen (Energiebereich 10 keV bis 10 MeV) für paralleles Strahlenfeld, rotierendes Strahlenfeld, Bodenstrahlung sowie Strahlung aus der Wolke berechnet werden.

2.2 UMWELTGEOMETRIEN

Organdosiswerte für Kinder bei Bodenstrahlung und Strahlung aus der Wolke für die gammastrahlenden Radionuklide aus der Richtlinie Inkorporationsüberwachung sollten berechnet und mit entsprechenden Werten für Erwachsene verglichen werden.

2.3 ORGANDOSIS-KONVERSIONSFAKTOREN IN DER COMPUTERTOMOGRAPHIE (CT)

Berechnungen von Organdosiswerten bei CT-Untersuchungen sehr kleiner Körperabschnitte (5 mm Dicke) für Voxel-Phantome, die Patienten unterschiedlichen Alters, unterschiedlicher Statur und beiderlei Geschlechts repräsentieren, sowie Berechnungen des $CTDI_{vol}$ sollten durchgeführt werden. Außerdem sollten diese Werte zu Organdosiswerten für typische CT-Untersuchungen kombiniert werden.

2.4 DOSISBERECHNUNGEN FÜR EINE SCHWANGERE FRAU UND DEREN FÖTUS

Es sollten Berechnungen von Dosiswerten für eine schwangere Frau und deren Fötus für unterschiedliche Expositionsszenarien - intern und extern - durchgeführt werden.

2.4.1 Erstellung des Voxelphantoms

Dieses Einzelziel bestand in der Erstellung eines Voxel-Modells für eine schwangere Frau (6 Monate $\pm$ 1 Monat nach Konzeption). Die Frau sollte bezüglich ihrer Statur und Organmassen in etwa der Referenz-Frau gemäß ICRP entsprechen. Ferner sollte untersucht werden, inwieweit auch größere Organe des Fötus segmentiert werden können.

2.4.2 Interne Dosimetrie

Es sollten spezifische absorbierte Bruchteile für die Quellenbereiche und Targetgewebe der Frau gemäß der biokinetischen und dosimetrischen Modelle der ICRP sowie für den Fötus und evtl. größere Organe des Fötus als zusätzliches Target berechnet werden.

2.4.3 Externe Dosimetrie

Es sollten Konversionsfaktoren für die Fötusdosis bei externer Strahlenexposition für paralleles Strahlenfeld, rotierendes Strahlenfeld, Bodenstrahlung sowie Strahlung aus der Wolke für monoenergetische Photonen (Energiebereich 10 keV bis 10 MeV) berechnet werden.

2.4.4 Häufige Röntgenuntersuchungen

Ferner sollten Fötusdosen für häufige Röntgenuntersuchungen anhand dieses Voxel-Modells berechnet werden. Dies erlaubt eine Dosisabschätzung für die seltenen Fälle, in denen sich Patientinnen in der zweiten Schwangerschaftshälfte trotz Kenntnis der Schwangerschaft einer Röntgenuntersuchung unterziehen müssen.

3. METHODIK

Die Berechnungen wurden mit Hilfe von Monte-Carlo-(MC)-Strahlentransportprogrammen in Voxelmodellen unterschiedlichen Alters, unterschiedlicher Statur und beiderlei Geschlechts durchgeführt. Für das Voxelmodell der schwangeren Frau wurde der Fötus separat segmentiert und anschließend in den Beckenbereich eines bereits segmentierten Voxelmodells eingesetzt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 EXTERNE STRAHLENEXPOSITION MIT PHOTONEN

Für die Berechnung von Organ-Konversionsfaktoren für Kinder unterschiedlicher Altersklassen wurden die bereits existierenden Voxelmodelle „Baby“ und „Child“ verwendet. „Baby“ ist das Voxelmodell eines Säuglings im Alter von 8 Wochen und diente als Modell für ein Neugeborenes (Altersklasse $\leq 1a$). „Child“ ist das Voxelmodell eines 7-jährigen Mädchens, das auf Grund seiner geringen Körpergröße (115 cm, 21,7 kg) als Modell für Kinder im Alter von fünf Jahren (Referenzwerte nach ICRP: 109 cm, 19 kg) bzw. die Altersklasse 2-7a diente. Ein weiteres Voxelmodell eines 8-jährigen Mädchens („Jo“) musste erst fertig segmentiert werden. Das Mädchen ist 130 cm groß und wiegt 34 kg und konnte somit als Modell für Kinder im Alter von zehn Jahren (Referenzwerte nach ICRP: 138 cm, 32 kg) bzw. die Altersklasse 7-12a verwendet werden. Die Dosisberechnungen für diese drei Kindermodelle wurden mit dem Monte-Carlo-Programm EGSnrc zur Simulation des Strahlentransports im menschlichen Körper durchgeführt.

4.2 UMWELTGEOMETRIEN

Es wurde ein Softwareprogramm erstellt, das es erlaubt, die für ausgewählte (monochromatische) Photonenenergien berechneten Organdosiskonversionsfaktoren für beliebige Energiewerte zu interpolieren und diese interpolierten Konversionsfaktoren gemäß der beim radioaktiven Zerfall ausgewählter Radionuklide auftretenden Gammalinien und deren Intensitäten geeignet zu kombinieren. Dies wurde angewendet auf die o. g. Konversionsfaktoren für Kinder verschiedener Altersgruppen sowie für die im Rahmen des Forschungsvorhabens StSch. 4417 berechneten entsprechenden Konversionsfaktoren für Voxelmodelle erwachsener Männer und Frauen. Als Radionuklide wurden die (ca. 60) gammastrahlenden Radionuklide aus der Richtlinie Inkorporationsüberwachung berücksichtigt. Hierzu wurden die neuesten Zerfallsdaten nach ICRP Publikation 107 verwendet.

4.3 ORGANDOSIS-KONVERSIONSFAKTOREN IN DER COMPUTERTOMOGRAPHIE (CT)

Da CT-Untersuchungen wenig standardisiert sind, ist eine möglichst große Flexibilität der berechneten Konversionsfaktoren erforderlich. Daher wurden Organdosiskonversionsfaktoren für CT-Untersuchungen von

Körperabschnitten der Dicke 5 mm berechnet. Dabei wurden Kopf und Rumpf lückenlos abgedeckt. Diese Konversionsfaktoren wurden berechnet für „Baby“ und „Child“ sowie für Voxelmodelle von erwachsenen Frauen und Männern unterschiedlicher Statur. Da die genauen Spezifikationen moderner CT-Geräte hinsichtlich Strahlenqualität und Formfilter von Herstellerseite geheim gehalten werden, waren die Expositionsparameter (Röhrenspannung, Filterung, Entfernung zwischen Fokus und Rotationsachse, Formfilter) nur für einen Gerätetyp in Erfahrung zu bringen, auf den die Berechnungen folglich beschränkt werden mussten. Für dieses CT-Gerät wurde außerdem ein entsprechender Konversionsfaktor für den Volumen-CT-Dosisindex $CTDI_{vol}$ berechnet. Die Berechnung des Volumen-CTDI wurde mit Hilfe zweier zylindrischer Voxelmodelle durchgeführt, die Volumina zur Berechnung des $CTDI_{100,c}$ und $CTDI_{100,p}$ enthalten. Diese beiden Messgrößen werden zum $CTDI_w$ zusammengefasst, aus dem unter Einbeziehung des sog. „Pitchfaktors“ (d. h. dem Quotienten aus dem Tischvorschub und der Gesamtkollimation) der $CTDI_{vol}$ berechnet wird. Auch diese Berechnungen wurden mit den oben genannten Strahlentransportprogramm EGSnrc durchgeführt.

Da die meisten aktuellen CT-Geräte Spiral-CT-Geräte sind und die Gesamtkollimation bei den modernen Vielzeilen-Geräten ein Vielfaches der simulierten Schichtdicke von 5 mm ist, wurde außerdem untersucht, wie gut die bei den modernen Untersuchungstechniken auftretenden Dosiswerte mit Hilfe der 5 mm dicken axialen Schichten abgeschätzt werden können. Hierfür wurden ausgewählte Spiral-CT-Untersuchungen bei bis zu 28 mm Gesamtkollimation mit unterschiedlichen Pitch-Faktoren explizit simuliert und deren Konversionsfaktoren mit denen von entsprechend aufsummierten axialen 5-mm-Schichten verglichen.

Hierfür wurde ein Softwareprogramm erstellt, das eine Kombination der Konversionsfaktoren für einzelne 5-mm-Schichten zu CT-Untersuchungen ausgedehnter Körperbereiche gestattet. Dabei werden neben dem Patienten- und dem Gerätetyp auch die aktuellen Scanparameter der Untersuchung (Röhrenstrom und Expositionszeit bzw. mAs-Produkt, Schichtdicke, Tischvorschub etc.) berücksichtigt. Typische CT-Untersuchungen orientieren sich dabei an den Ergebnissen der bundesweiten CT-Umfragen von 1999 und 2002, den „European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography“ sowie den Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie.

4.4 DOSISBERECHNUNGEN FÜR DIE SCHWANGERE FRAU UND DEREN FÖTUS

Das Ganzkörpermodell einer Frau in der 24. Schwangerschaftswoche wurde auf der Basis von Bilddaten einer schwangeren Frau sowie dem Voxelmodell der erwachsenen Referenzfrau (ICRP Publikation 110) erarbeitet. Der Fötus wurde aus dem MR-Bilddatensatz des Abdomens und Beckens einer Schwangeren segmentiert. Dabei wurden auch größere Organe des Fötus (z. B. das Skelett) segmentiert, soweit sie auf den MR-Bilddaten identifiziert werden konnten. Die Organe im Bereich des Abdomens und Beckens der Referenzfrau wurden teils verschoben und zusammengedrückt, und außerdem wurde der Bauchumfang entsprechend vergrößert, um Raum für den Fötus zu schaffen. Die Berechnungen der absorbierten Bruchteile für die Quellenbereiche und Targetgewebe der Frau wurden ebenfalls mit EGSnrc durchgeführt. Die Quellenbereiche wurden dabei gemäß der biokinetischen Modelle der ICRP ausgewählt; Targetgewebe sind alle im Voxelmodell der Frau segmentierten Organe und Gewebe sowie der Fötus einschließlich der separat segmentierten Organe des Fötus. Auch die Berechnung von Konversionsfaktoren für die Fötusdosis bei externer Strahlenexposition wurde mit EGSnrc durchgeführt. Konversionsfaktoren wurden hierbei berechnet für den Fötus und seine Organe. Bei der Berechnung der Fötusdosis für häufige Röntgenuntersuchungen wurden sowohl solche Röntgenaufnahmen betrachtet, bei denen der Fötus nicht direkt sondern hauptsächlich durch Streustahlung exponiert wird (Thoraxuntersuchungen a. p. und p. a.) als auch solche, bei denen der Fötus ganz oder teilweise im Primärstrahlenbündel exponiert wird (Abdomen- und Beckenaufnahmen sowie Aufnahmen der Lendenwirbelsäule).

5. ERGEBNISSE

5.1 EXTERNE STRAHLENEXPOSITION MIT PHOTONEN

Abbildung 1 zeigt Konversionsfaktoren für das Babyphantom für monoenergetische Photonen und die beiden Umgebungsgeometrien. Dabei ist festzustellen, dass nur geringe Unterschiede zwischen den Konversionsfaktoren der einzelnen Organe auftreten, da diese Geometrien zu einer ziemlich homogenen Bestrahlung des gesamten Körpers führen. Für hohe Photonenenergien fallen die Konversionsfaktoren umso stärker ab, je oberflächennäher das Organ liegt, da für diese Energien kein Sekundärteilchengleichgewicht herrscht. Je näher der Körperoberfläche die Sekundärteilchen entstehen, umso mehr davon verlassen den Körper. Entsprechende Konversionsfaktoren wurden auch für die Phantome „Child“ und „Jo“ berechnet.

Für Strahleneinfall parallel von vorne und von hinten sind die Unterschiede zwischen den Konversionsfaktoren der einzelnen Organe für alle Phantome größer, besonders im Energiebereich unterhalb von 500 keV (AP) oder 1 MeV (PA), infolge des starken Dosisabfalls mit zunehmender Tiefe im Körper für diese Energien bei Strahleneinfall aus nur einer Richtung.

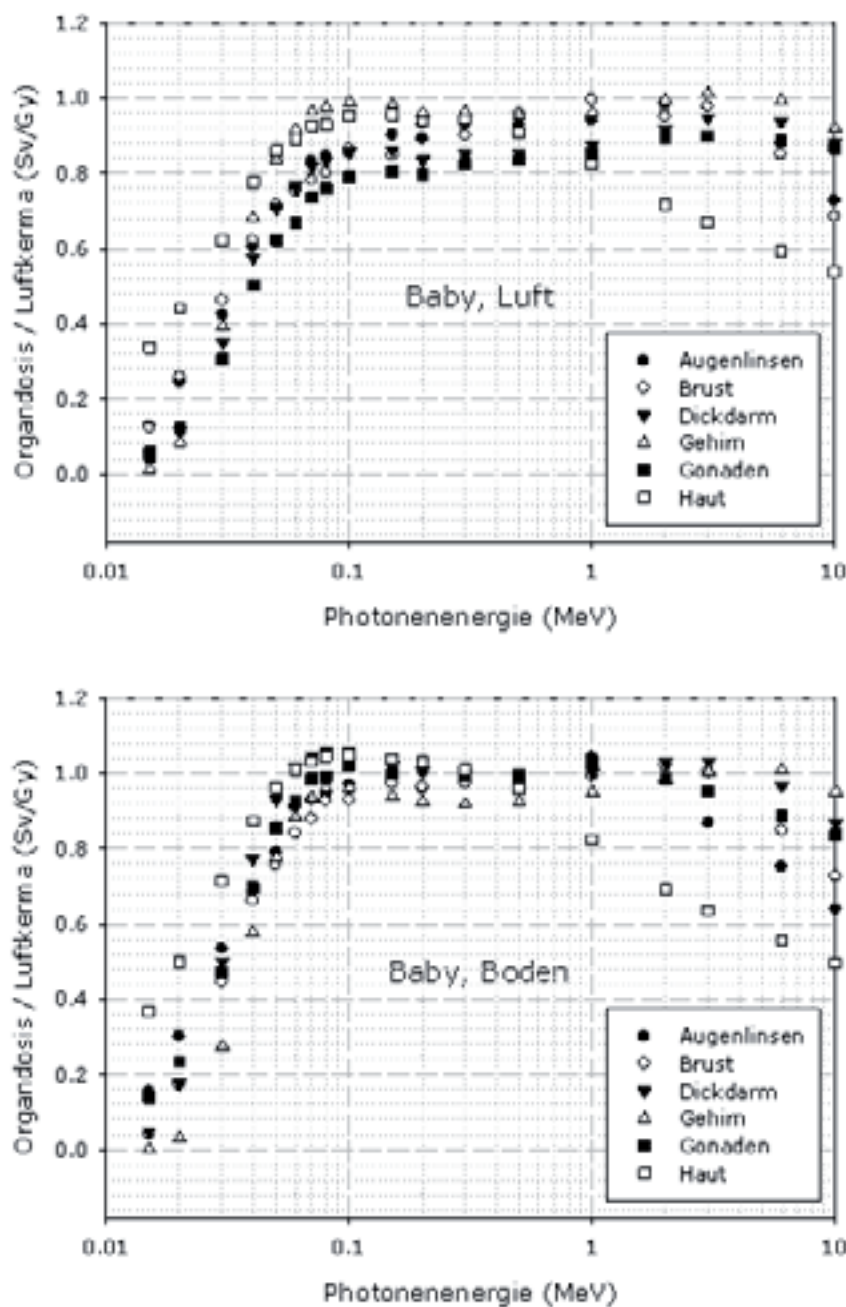


Abbildung 1:
Ausgewählte Organosiskonversionsfaktoren für das Phantom Baby bei Bestrahlung durch eine radioaktive Wolke (links) und Bodenkontamination (rechts) (monoenergetische Photonen)

5.2 UMWELTGEOMETRIEN

Die Berechnung von Organosiskonversionsfaktoren pro Aktivität eines Nuklids wurde für solche Radionuklide durchgeführt, die beim Zerfall im Wesentlichen Gammastrahlung emittieren, da Betastrahlung nur eine geringe Durchdringungsfähigkeit besitzt. Die beim Zerfall einer Reihe von Nukliden ebenfalls emittierte Beta-

strahlung wurde wegen ihrer geringen Reichweite nicht berücksichtigt. Als Expositionsszenarien wurden eine Exposition durch Radioaktivität in der umgebenden Luft sowie eine Exposition durch Bodenkontamination betrachtet. Generell ist zu sagen, dass diese beiden Umgebungsgeometrien eine relativ homogene Dosisverteilung innerhalb des Körpers zur Folge haben. Daher treten auch keine großen Unterschiede der einzelnen Organdosen auf. Ein Vergleich von Konversionsfaktoren für die effektive Dosis sowie für die Gonadendosis (arithmetisches Mittel aus den Dosiswerten für Ovarien und Testes) für die Kinderphantome mit denen der erwachsenen Phantome zeigt, dass die Konversionsfaktoren mit zunehmendem Alter (d. h. zunehmender Körpergröße) abnehmen, da bei größeren Körpern die Selbstabschirmung zunimmt.

5.3 ORGANDOSIS-KONVERSIONSFAKTOREN IN DER COMPUTERTOMOGRAPHIE (CT)

5.3.1 Berechnung von Organdosiswerten bei CT-Untersuchungen für Körperabschnitte der Dicke 5 mm sowie des CTDI_{vol}

Wichtige Bestandteile der numerischen Berechnung von Konversionsfaktoren bei CT-Untersuchungen sind neben realistischen Voxelmodellen die wirklichkeitsgetreue Modellierung der Strahlung aus der verwendeten Röntgenröhre, insbesondere hinsichtlich des Einsatzes so genannter Bowtie-Filter und einer eventuellen Röhrenstrommodulation. Leider waren auf Grund strikter Geheimhaltung durch die Hersteller Materialien und Dimensionen der Formfilter in CT-Geräten nicht in Erfahrung zu bringen, mit Ausnahme eines Scannertypen der Firma Siemens. Glücklicherweise ist jedoch aus einer anderen Studie bekannt, dass trotz großer Unterschiede in den absoluten Organdosen die Organdosis-Konversionsfaktoren für unterschiedliche Scannertypen sehr ähnlich sind, wenn der Volumen-CTDI als Normierungsgröße verwendet wird. Somit ist sichergestellt, dass Organdosis-Konversionsfaktoren, die für den oben erwähnten Siemens-Gerätetyp berechnet wurden, auch auf andere CT-Geräte übertragen werden können, sofern sie auf den Volumen-CTDI normiert werden. Ferner konnte gezeigt werden, dass die Organdosis-Konversionsfaktoren bei Mehrzeilen-CT-Geräten durch die Aufsummierung der Konversionsfaktoren für axiale Schichten hinreichend genau bestimmt werden können.

In vielen modernen CT-Geräten wird der Röhrenstrom entlang des Aufnahmepfades (Spirale, Kreis) um den Patienten moduliert, um der größeren Absorption in lateralen Einstrahlrichtungen verglichen zur frontalen Richtung Rechnung zu tragen. Diese Modulation wurde auch in die Berechnungen der Konversionsfaktoren mit einbezogen. Es ergab sich, dass sich auch in diesem Fall die Konversionsfaktoren in Spiralaufnahmen problemlos aus den Simulationen einzelner Schichtaufnahmen ermitteln lassen.

5.3.2 Dosiswerte für typische CT-Untersuchungen

Für fünf ausgewählte Standarduntersuchungen wurden Organdosen für sechs unterschiedliche Phantome ausgewertet. Dabei wurden jeweils für Scanbereich, CTDI_w und Pitch die „typischen“ Angaben aus der bundesweiten CT-Umfrage von 2002 zu Grunde gelegt. Für Kinder wurde die für pädiatrische CT-Untersuchungen empfohlene Reduktion des Röhrenstroms berücksichtigt. Als Röhrenspannung wurde 120 kV angenommen. Für jede Untersuchung wurden die Organdosen für axiale Scans und Spiralscans sowie mit und ohne Röhrenstrommodulation ausgewertet.

Es zeigte sich, dass die Untersuchung mittels Spiral-CT insbesondere für die Organe am Rand des Scanbereichs zu höheren Dosiswerten führt. Für Untersuchungen am Körperstamm und Organe im Zentrum der untersuchten Körperregion ist bei den erwachsenen Patienten eine deutliche Dosisreduktion durch die Anwendung der Röhrenstrommodulation zu erkennen.

5.4 DOSISBERECHNUNGEN FÜR DIE SCHWANGERE FRAU UND DEREN FÖTUS

5.4.1 Voxelphantom

Folgende Organe des Fötus konnten segmentiert werden: Augen, Augenlinsen, Gallenblase, Gehirn, Gehirnflüssigkeit, Herz, Leber, Lunge, Magen, Nieren und Rückenmark. Ferner wurden Kopf, Arme, Beine und Rumpf als getrennte Bereiche unterschieden. Die Knochen waren im MR-Datensatz leider nicht zu erkennen. Anhand des segmentierten Gehirns konnte jedoch die Lage des Schädelknochens abgeleitet werden. Dieser wurde als das Gehirn umgebende Schicht segmentiert. Ebenso wurde die Wirbelsäule als eine das Rückenmark umgebende Struktur realisiert. Die äußere Voxelreihe des Fötus wurde als dessen Haut definiert. Als weiteres Objekt wurde die Nabelschnur segmentiert.

5.4.2 Interne Dosimetrie

Absorbierte Bruchteile (englisch: absorbed fractions, AF) und spezifische absorbierte Bruchteile (englisch: specific absorbed fractions, SAF) wurden für je 25 Photonen- und Elektronenenergien im Energiebereich von 10 keV bis 10 MeV, für 56 Quellbereiche in der Mutter und 8 Quellbereiche im Fötus sowie alle in Mutter und

Fötus definierten Targetregionen berechnet. Eine Auswahl von SAF-Werten für Targetregionen im Fötus ist im Folgenden kurz zusammengefasst. Dabei wurden solche Organe der Mutter als Quellenorgane ausgewählt, die in der Nähe des Fötus liegen (Inhalt der Harnblase, Plazenta) oder im gesamten Körper verteilt sind (Fettgewebe). Für die Quelle im Harnblaseninhalte der Mutter ist zu beobachten, dass im gesamten Energiebereich die SAF-Werte für Photonen um Größenordnungen höher sind als die für Elektronen, auf Grund der sehr viel größeren Durchdringungsfähigkeit und Reichweite von Photonen im Vergleich zu Elektronen gleicher Energie. Erst für Energien oberhalb von 4 MeV erreichen die Elektronen-SAF-Werte für einige Targetorgane des Fötus eine vergleichbare Größe wie die für Photonen. Für die Quelle in der Plazenta sind die SAF-Werte höher als für die Quelle im Harnblaseninhalte, auf Grund der größeren räumlichen Nähe zum Fötus. Für Elektronenquellen treten die höchsten SAF-Werte für die Haut auf, da sie an der Körperoberfläche liegt und diese nicht durch andere Gewebe des Fötus abgeschirmt wird. Da das Fettgewebe über weite Bereiche des Körpers der Mutter verteilt ist und nur zu einem geringen Teil in der Nähe des Fötus liegt, kann nur ein geringerer Bruchteil der dort emittierten Photonen und Elektronen den Fötus erreichen, und die SAF-Werte sind insgesamt kleiner als für die näher gelegenen Quellbereiche.

5.4.3 Externe Dosimetrie

Konversionsfaktoren für einige Organe des Fötus für idealisierte Geometrien (Photoneneinfall parallel AP, PA, ROT und isotrop) sowie für Umgebungsgeometrien (radioaktive Wolke und Bodenkontamination) wurden berechnet. Tabelle 1 zeigt diese Konversionsfaktoren für die Lunge des Fötus.

Tabelle 1:

Dosiskonversionsfaktoren (Energiedosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für die Lunge des Fötus für monoenergetische Photonen

Photonen-Energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0,010	0,000	0,000	0,000	0,000		
0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,020	0,013	0,000	0,006	0,003	0,002	0,004
0,030	0,254	0,013	0,125	0,092	0,069	0,085
0,040	0,708	0,114	0,359	0,278	0,230	0,231
0,050	1,078	0,281	0,610	0,468	0,397	0,368
0,060	1,319	0,426	0,770	0,599	0,518	0,458
0,070	1,409	0,526	0,852	0,664	0,597	0,519
0,080	1,461	0,604	0,894	0,706	0,648	0,563
0,100	1,393	0,633	0,875	0,726	0,681	0,604
0,150	1,210	0,607	0,823	0,645	0,669	0,637
0,200	1,125	0,608	0,766	0,621	0,661	0,625
0,300	1,058	0,632	0,757	0,613	0,652	0,628
0,400	0,998	0,631	0,742	0,611		
0,500	0,973	0,622	0,742	0,614	0,657	0,631
0,600	0,962	0,674	0,759	0,651		
0,800	0,960	0,712	0,774	0,663		
1,000	0,945	0,718	0,777	0,689	0,701	0,665
2,000	0,959	0,760	0,854	0,768	0,768	0,728
3,000	1,014	0,830	0,884	0,765	0,799	0,756
4,000	0,961	0,823	0,907	0,786		
6,000	0,975	0,836	0,869	0,870	0,847	0,787
8,000	0,979	0,850	0,894	0,828		
10,00	0,994	0,857	0,917	0,888	0,849	0,805

5.4.4 Häufige Röntgenuntersuchungen

Fötusdosen wurden für die Röntgenuntersuchungen Thorax a. p. und p. a., Abdomen a. p. und Lendenwirbelsäule a. p. berechnet. Bei der Abdomenaufnahme ist der Fötus vollständig im Strahlenfeld, bei der Lendenwirbelsäulenaufnahme zum großen Teil und bei den beiden Thoraxaufnahmen gar nicht, so dass er bei diesen beiden Untersuchungen ausschließlich durch Streustrahlung exponiert wird. Die Konversionsfaktoren (Organ-dosis / Einfallsdosis frei in Luft, in mSv/mGy) für Organe des Fötus reichen für die Abdomen-Aufnahme von 0,22 bis 0,59 und haben damit in etwa die gleiche Größenordnung (das 0,7- bis 1,5fache) wie für die Harnblase der Mutter. Für die Untersuchung der Lendenwirbelsäule reichen die Konversionsfaktoren für Organe des Fötus von 0,11 bis 0,44, das ist etwa das 0,7- bis 2,3fache des Wertes für die Harnblase der Mutter. Für die Thoraxaufnahmen sind die Konversionsfaktoren für Organe des Fötus sehr klein gegenüber den direkt im Strahlengang befindlichen Organen der Mutter. Die Konversionsfaktoren für einzelne Organe bei der Thoraxaufnahme a.p. sind maximal 0,007, das ist um mindestens den Faktor 140 kleiner als der Wert für die Brust der Mutter; für die p.a.-Aufnahme treten maximale Konversionsfaktoren von 0,004 auf, was um mindestens den Faktor 120 kleiner ist als der Konversionsfaktor für die Lunge der Mutter.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Externe Dosisleistungskoeffizienten sind im Bundesanzeiger lediglich für Erwachsene angegeben; für Kinder wurden diese Werte mit konstanten Faktoren multipliziert. Die Ergebnisse dieses Vorhabens erlauben es, externe Dosisleistungskoeffizienten (auch für den Fötus) viel realistischer nuklidabhängig zu bestimmen. Weiterhin erlauben es die Ergebnisse dieses Vorhabens, bei gängigen CT-Untersuchungen Dosiswerte nicht nur für durchschnittliche Patienten zu bestimmen, sondern auch für Patienten anderer Statur abzuschätzen. Erstmals wurden auch Dosiskoeffizienten für den Fötus auf Grundlage von Voxel-Modellen hergeleitet. Mit diesen Ergebnissen kann die Aussagekraft der bisherigen Werte, die auf mathematischen Phantomen beruhen, quantifiziert werden.

Themenbereich 03

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

Subject area 03

Radiation Biology - Effects of ionising radiation, radiosensitivity

Thema / Subject			
1st International Radiation Proteomics Workshop			
Kennzeichen St.Sch. 3608S03030	Beginn 01.02.2009	Ende 31.07.2009	Fördermittel EUR 35.224,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Helmholtz Zentrum München			
Projektleitung Dr. S. Tapio	Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.1	verantwortlich für den Text Dr. S. Tapio	

1. ZIELSETZUNG

Epidemiologische Studien deuten darauf hin, dass schon wesentlich geringere Dosen ionisierender Strahlung als bisher angenommen schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben können. Allerdings ist der epidemiologische Ansatz bei der Beurteilung der Gesundheitsgefährdung durch niedrige Dosen ionisierender Strahlung vermutlich nicht genügend empfindlich, um schwache biologische Wirkungen zu erkennen und ebenfalls ungeeignet, um Details über die beteiligten biologischen Mechanismen herauszufinden. Deshalb ist die Frage, welche Auswirkung niedrigdosierte ionisierende Strahlung auf Zellen hat, in der internationalen Strahlenforschung von besonderer Bedeutung. Im Vergleich zu der hoch dosierten Strahlung ist das Gesundheitsrisiko der niedrigen Dosen wenig erforscht - entscheidende Antworten stehen noch aus. Deswegen muss ein neuer Ansatz zur Untersuchung der biologischen Wirkungen von Strahlung auf Zellen, Gewebe und Organismen bei allen Dosen gefunden werden, ganz besonders bei niedrigen Dosen. Ein Ansatz dazu ist die so genannte OMIC-Forschung, bei der z. B. Änderungen im gesamten Genom, der gesamten Genexpression oder der gesamten Proteinexpression in Zellen erfasst werden.

Hochdurchsatz-Test-Verfahren wie die Proteomforschung („Proteomics“) haben sich in den letzten Jahren mit atemberaubender Geschwindigkeit entwickelt. Die Proteomforschung ist heute ein ausgereiftes Werkzeug, das uns neue Informationen über die biochemischen Mechanismen liefert, die die Physiologie der Zelle regulieren. Der Ansatz, das gesamte Proteom zu analysieren, gewinnt weltweit immer mehr die Unterstützung der strahlenbiologischen Gemeinschaft, auch wenn ihre Anwendungen zurzeit auch noch selten sind.

Ziel des Workshops war es, die Experten aus dem Gebiet der Proteomforschung mit denen aus dem Gebiet der Strahlenforschung zusammenzubringen, um gemeinsame Ansätze und Möglichkeiten zu diskutieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

Vier Hauptziele wurden mit dem Workshop verfolgt:

1. Diskussion zwischen Strahlenbiologen und Proteomics-Spezialisten zur Verbesserung der künftigen Zusammenarbeit,
2. Vermittlung von Informationen über die neuesten methodischen Highlights und Herausforderungen in Proteomics,
3. Feststellung des Stands der Proteomforschung in der Strahlenforschung,
4. Identifizierung neuer Biomarker der ionisierenden Strahlung durch Proteomforschung.

3. METHODIK

Die Arbeiten für die Planung und den Ablauf des Workshops wurden in vier Arbeitspaketen geleistet:

1. Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik:

Erstellung eines Berichtes über die

- bisherigen Arbeiten des Auftragnehmers,
- Auswahlkriterien / Vorstellung der ausgewählten Redner.

2. Vorbereitung des Workshops:

- Bildung eines Organisationskomitees, Erstellung des Tagungsprogramms / Ermittlung der Redner mit internationaler Reputation,

- Einladung der Redner,
 - Erstellung einer Website und eines Flyers,
 - Strukturierung des Programms / des Workshops,
 - Praktische Organisation und Vorbereitung des Workshops (Anmeldungen, Sitzungen, Posterausstellung, Namensschilder, Programmheft) / der Betreuung / Unterkunft der Gäste, sowie
 - Erstellung eines Abstraktbandes.
3. Durchführung des Workshops nach Plan (siehe Tagungsprogramm)
4. Nachbereitung:
- Bereitstellung der angeforderten Präsentationen der Redner zur Präsentation im Internet.

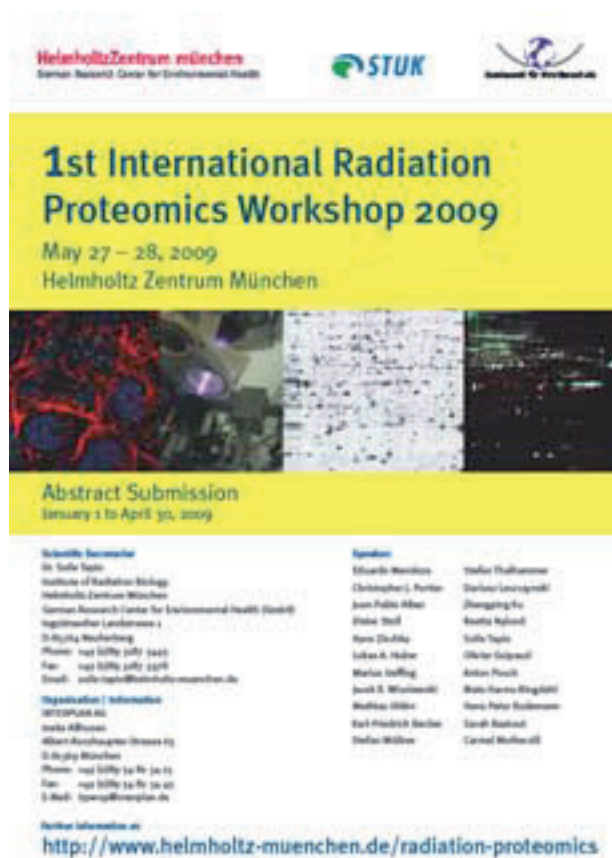
4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ORGANISATION DES WORKSHOPS

Der Workshop wurde in Zusammenarbeit zwischen Helmholtz Zentrum München (HMGU), STUK - Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki, Finnland, und Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt. Der Workshop fand im Helmholtz Zentrum München vom 27. bis 28. Mai 2009 statt.

4.2 TAGUNGSPROGRAMM

22 Redner aus 13 Ländern waren eingeladen. Am ersten Tag des Workshops wurde der aktuelle Stand der Proteomforschung dargelegt. Am zweiten Tag des Workshops haben Redner aus 11 Instituten in sieben Ländern berichtet. Die Teilnehmerzahl betrug etwa 120 (Teilnahme am Workshop war für Mitarbeiter des Helmholtz Zentrums und des BfS frei). Die Anzahl der registrierten Teilnehmer mit 84 aus 13 Ländern hat die Erwartungen überschritten. Besonders groß war der Anteil junger Forscher.



5. ERGEBNISSE

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

Neben den Diskussionsmöglichkeiten nach den Vorträgen und zusätzlich in den Pausen wurde ein sog. „Working Dinner“ veranstaltet, bei dem die Teilnehmer in fünf Gruppen eingeteilt wurden, um in einem „Brainstorming“ zu beantworten, ob die Proteomforschung aktuelle Probleme in der Strahlenbiologie lösen kann. Zu diesem Thema hatte jede der fünf Gruppen eine besondere Frage zu bearbeiten und das Ergebnis für die anderen Teilnehmer zu präsentieren.

Es fanden in dem Workshop zwei Posterpräsentationen statt; insgesamt wurden 17 Poster, besonders von jungen Forschern, präsentiert und von den Teilnehmern diskutiert.

5.2 INFORMATION ÜBER DIE NEUESTEN METHODISCHEN HIGHLIGHTS UND HERAUSFORDERUNGEN IN PROTEOMICS

Die 11 eingeladenen Proteomicsexperten aus fünf verschiedenen Ländern präsentierten Vorträge zu folgenden Themen:

- Systembiologie in der Proteomforschung (Mendoza, Portier),
- Methodologische Highlights (Albar, Stoll),
- Proteomanalyse der zellulären Organellen (Stasyk, Zischka),
- Proteomics: Herausforderungen (Ueffing, Wisniewski),
- Datenbanken, Archive und statistische Analyse (Uhlen, Becker, Müllner).

5.3 FESTSTELLUNG DES STANDS DER PROTEOMFORSCHUNG IN DER STRAHLENFORSCHUNG

Auch wenn die Strahlenforschung in der Proteomforschung noch selten vertreten ist, gibt es international schon mehrere Gruppen, die gute Ergebnisse auf diesem Gebiet erzielt haben. Am zweiten Tag des Workshops haben Redner aus 11 Instituten in sieben Ländern berichtet. Die Themen waren:

- Proteomforschung der nicht-ionisierenden Strahlung (Leszczynski, Xu, Nylund),
- Anwendung der Proteomforschung zur Untersuchung der Strahlensensitivität (Tapio, Guipaud, Posch, Harms-Ringdahl, Rodemann),
- Hochdurchsatz-Verfahren in der Strahlenforschung (Baatout),
- Proteomanalyse auf dem Gebiet „non-targeted effects“ (Mothersill).

5.4 IDENTIFIZIERUNG NEUER BIOMARKER DER IONISIERENDEN STRAHLUNG DURCH PROTEOMFORSCHUNG

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

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

In dem Workshop wurde das wichtigste Ziel, klassische Strahlenforschung mit der relativ neuen Proteomforschung zusammenzubringen, erfolgreich umgesetzt. Die Vermittlung des „state of the art“ auf beiden Forschungsgebieten führte zu einem weitergehenden Dialog zwischen den Disziplinen und zu weiteren Kooperationen. Besonders im Hinblick auf die Entwicklung von Forschungsvorhaben in der Ressortforschung zu den Themen individuelle Strahlenempfindlichkeit, Niedrig-Dosis-Bereich und Biomarker bot der Workshop einen wertvollen Überblick und Einblick.

Thema Veränderte zelluläre „early-response“-Proteine nach ionisierender Bestrahlung - Biomarker für individuelle Strahlenempfindlichkeit			
Subject <i>Changes in cellular early response proteins after exposure to ionising radiation: biomarkers of individual radiation sensitivity</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3605S04474	Beginn 01.10.2005	Ende 31.12.2008	Fördermittel EUR 302.382,-
Forschungs- / Auftragnehmer Sektion für Strahlenbiologie und Molekulare Umweltforschung, Univ.-Klinik f. Radioonkologie, Tübingen			
Projektleitung Prof. Dr. H. P. Rodemann	Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.1	verantwortlich für den Text Prof. Dr. H. P. Rodemann	

1. ZIELSETZUNG

Zielsetzung des Projektes war es, Markerproteine für die individuelle Strahlensensitivität mittels Proteomics-Analyse zu identifizieren. Es ist bekannt, dass durch Strahlenexposition Genexpressionsveränderungen auftreten können und damit die Proteinexpression einer Zelle deutlich beeinflusst wird. Wenig ist allerdings über die strahleninduzierten Modifikationen von Proteinen und Proteinmengen bekannt. Im Gegensatz zur strahleninduzierten Expression von Genen mit nachfolgender Proteinexpression und vor dem Hintergrund, dass die Strahlenreaktion einer Zelle auf Proteombasis nicht mit der Genexpression übereinstimmen muss, sollte eine Identifizierung durch Strahlung modifizierter Proteine mittels 2-dimensionaler Proteom-Analysen und eine Identifizierung Strahlenreaktions-relevanter Proteine in strahlenresistenten und strahlensensitiven sowie normal strahlensensitiven / -resistenten humanen Hautfibroblasten, humanen lymphoblastoiden Zelllinien und primären humanen Lymphozyten durchgeführt werden. Qualitativ spezifische exprimierte Proteine in unbestrahlten Zellen sowie signifikante Änderungen der Expression spezifischer Proteine wurden mittels massenspektrometrischer Analytik charakterisiert. Somit sollten auf der Basis von 2D-Proteomanalysen potenzielle Markerproteine für die individuelle Strahlenempfindlichkeit charakterisiert werden, die für die Entwicklung / Etablierung prädiktiver Testsysteme zur Bestimmung der individuellen Strahlenempfindlichkeit mittels Protein-Array-Analyse dienen könnten.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 IDENTIFIZIERUNG VON DURCH STRAHLUNG MODIFIZIERTEN PROTEINEN MITTELS 2-DIMENSIONALER PROTEOM-ANALYSEN IN ZELLINIEN

In strahlenresistenten und strahlensensitiven sowie normal strahlensensitiven / -resistenten humanen Hautfibroblasten und humanen lymphoblastoiden Zelllinien sollte die Dosisabhängigkeit und der Zeitverlauf der Proteinexpression untersucht werden. Durch Strahlung auffällig veränderte Proteine sollten mittels Massenspektrometrie identifiziert werden.

2.2 IDENTIFIZIERUNG VON DURCH STRAHLUNG MODIFIZIERTEN PROTEINEN IN PRIMÄREN HUMANEN LYMPHOZYTEN

Die durch die Arbeiten an den Zelllinien erzielten Ergebnisse sollten an einer Population von eineiigen Zwillingen verifiziert werden. Die Zwillinge waren in dem Projekt StSch. 4460 (s. Programmreport 2007) in ihrer In-vitro-Strahlenreaktion beschrieben worden.

3. METHODIK

3.1 ZELLMATERIAL

Für die Untersuchungen wurden einerseits lymphoblastoide Zelllinien mit unterschiedlicher Strahlenempfindlichkeit sowie primäre Lymphozyten des peripheren Blutes von eineiigen Zwillingen mit definierter Strahlen-

sensitivität (normal, resistent, sensitiv) verwendet. Als zusätzliche Vergleichszellen wurden die strahlensensitiven und strahlenresistenten Fibroblasten-Stämme EU2E bzw. EU2C in die Pilotexperimente mit einbezogen, um einen Basisvergleich der Proteinmuster zu erhalten.

3.2 ZELLBESTRAHLUNG

Die Bestrahlung der Zellen erfolgte am Gulmay RS225-Bestrahlungsgerät der Sektion für Strahlenbiologie und Molekulare Umweltforschung. Dieses Gerät ermöglicht die Bestrahlung von Zellkulturen mit 225 kV-Röntgenstrahlen unter 37°C Bedingungen mit einer Dosisleistung von 1 Gy/min bzw. 3 Gy/min. Die Zellen wurden Experiment-spezifisch mit 0,1, 1,0 oder 4,0 Gy bestrahlt.

3.3 PROTEINEXPRESSIONS-ANALYTIK

3.3.1 Zweidimensionale Polyacrylamid-Gelelektrophorese (2D-PAGE)

100 µg Protein-Aliquots aller Zelllysate wurden in der 1. Dimension mittels des IPGPhor-Systems (GE Healthcare), in einem konstanten pH-Gradienten von 3-10 aufgetrennt. Hierfür wurden immobilisierte pH-Gradienten-Gele, so genannte „Immobiline DryStrips 3-10 (GE Healthcare)“ mit einer Länge von 13 bzw. 18 cm verwendet. Überblickanalysen erfolgten mit 13 cm Gelen. Die nachfolgenden genaueren Auftrennungen der Proteinmuster erfolgten unter Verwendung derselben immobilisierten pH-Gradienten-Gele, allerdings mit einer Gesamtlänge von 18 cm.

3.3.2 Zweidimensionale Fluoreszenz Differenz Gelelektrophorese (2D-DIGE)

Um eine noch differenziertere Vergleichbarkeit der Proteinexpression in unterschiedlich strahlensensitiven Zellen zu ermöglichen, wurde in Ergänzung zu der oben beschriebenen 2D-PAGE-Methode die 2D-DIGE-Technologie etabliert und auf die gegebenen Probenverhältnisse hinsichtlich Probenaufarbeitung, Laufbedingungen etc. optimiert.

3.3.3 1D-PAGE und Western Blotting

Für die Überprüfung der Funktionalität relevanter Proteine wurde die 1D-PAGE mit anschließendem Western Blotting und Nachweis von einzelnen Proteinen mit spezifischen Antikörpern vorgenommen.

3.3.4 Massenspektroskopie

Die massenspektroskopische Analyse der differenziell exprimierten Proteine wurde von dem Naturwissenschaftlichen und Medizinischen Institut NMI Reutlingen in Kooperation mit dem Proteom-Zentrum der Universität Tübingen im Unterauftrag mit Standardmethoden durchgeführt. Hierzu wurden die Proteine von Interesse aus den Gelen eluiert; nach proteolytischem Verdau erfolgte die Massenspektroskopie der entsprechenden Proben. Mit Hilfe spezifischer Software-Programme konnten in einem Datenbankabgleich die Proteinspots von Interesse bereits identifizierten und charakterisierten Proteinen zugeordnet werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Die optimierten Techniken für die unter verschiedenen Bedingungen durchgeführte 2D-Proteinanalytik konnten in diversen Optimierungsexperimenten bzgl. der prinzipiellen 2D-Gelelektrophoresebedingungen und der Proteinspot-Homogenität in den verschiedenen zu bearbeitenden Zellsystemen mit hoher Reproduzierbarkeit erarbeitet werden. Auf Basis dieser optimierten Technologien hinsichtlich 2D-PAGE und 2D-DIGE konnten relevante Markerproteine für strahlensensitive bzw. strahlenresistente humane lymphoblastoide Zelllinien bzw. primäre humane Lymphozyten identifiziert werden.

5. ERGEBNISSE

5.1 2D-PAGE

Entsprechend der 2D-PAGE-Analysen konnten 25 Proteinspots identifiziert werden, die in radiosensitiven gegenüber radioresistenten lymphoblastoiden Zellen eine um mehr als das 2fache gesteigerte Expressionsintensität aufweisen. 28 Proteinspots zeigten dagegen in radiosensitiven gegenüber radioresistenten lymphoblastoiden Zellen eine um das mehr als 2fache reduzierte Expressionsintensität. Zudem konnten 31 Spots identifiziert werden, die nur in radiosensitiven nicht aber in radioresistenten Zellen vorhanden waren, und 5 Proteine waren nur in radioresistenten nicht aber radiosensitiven Zellen exprimiert. Die Analytik in Abhängigkeit von der Strahlendosis und der Zeit nach der Bestrahlung zeigte nur marginale Unterschiede in der Expression der zu unter-

suchenden Proteine. Die generelle Aussage hierbei ist, dass alle Proteine, die 24 h nach Bestrahlung als signifikant exprimiert dargestellt werden konnten, auch schon 1 h nach Bestrahlung qualitativ zu beobachten waren, wenn auch Spot-spezifisch mit bestimmten quantitativen Unterschieden. Aus diesem Grunde wurde für die Folgeanalysen der Expression nach Strahlenexposition der Zeitpunkt 1 Stunde nach Bestrahlung mit 4 Gy gewählt.

5.2 2D-DIGE

Basierend auf der 2D-DIGE-Technologie konnten im direkten Vergleich zwischen unbestrahlten radioresistenten und radiosensitiven lymphoblastoiden Zellen insgesamt 17 Proteinspots identifiziert werden, die eine signifikante, d. h. zweifach erhöhte Expression entweder in radioresistenten bzw. radiosensitiven Zellen zeigten. Die Detailanalyse ergab, dass 9 Proteinspots in radioresistenten und 8 Proteinspots in radiosensitiven Zellen signifikant stärker exprimiert waren. Diese Proteinspots waren alle im pI (isoelektrischer Punkt)-Bereich zwischen 4,7 und 6,7 und Molekulargewichtsbereich zwischen 15-100 kDa lokalisiert.

Nach Strahlenexposition konnten im direkten Vergleich von radioresistenten und radiosensitiven lymphoblastoiden Zellen 30 Proteinspots als differenziell exprimiert erkannt werden. Davon waren 14 in radioresistenten und 16 in radiosensitiven Zellen signifikant, d. h. mehr als zweifach überexprimiert. Die unter Bestrahlungsbedingungen differenziell exprimierten Proteinspots waren ebenfalls in dem pI-Bereich zwischen 4,7 und 6,7 lokalisiert, zeigten jedoch gegenüber den unter Nicht-Bestrahlungsbedingung differenziell zu erfassenden Proteinen eine größere Spreizung im Molekulargewichtsbereich, d. h. zwischen 15 bis 150 kDa.

5.3 MASSENSPEKTROSKOPISCHE IDENTIFIZIERUNG DER DIFFERENZIELL EXPRIMIERTEN PROTEINE IN RADIORESISTENTEN UND RADIOSENSITIVEN LYMPHOBLASTOIDEN ZELLEN

Tabelle 1 stellt die identifizierten Proteine dar, die entweder bereits in nicht bestrahlten oder nach Strahlenexposition in radioresistenten und radiosensitiven lymphoblastoiden Zellen differenziell exprimiert sind. Auffallend ist hierbei, dass einige der Proteine, die in radioresistenten oder radiosensitiven Zellen eine differenzielle basale Expression zeigen, zusätzlich noch eine Strahleninduzierbarkeit zeigen. Bezüglich Radioresistenzspezifischer Proteine ist zu erkennen, dass insbesondere zwei Proteine, das Stress-70-Protein (Mortalin) und die Glutathion-S-Transferase omega-1 durch verschiedene frühere Arbeiten (Kodym et al. 1999; Board et al. 2000) in Verbindung mit Radioresistenz von Tumorzellen beschrieben worden sind. Dies bedeutet, dass Mortalin und GST omega 1 (GST o1) durchaus als geeignete Markerproteine für Radioresistenz auch in Lymphoblasten gelten können.

Tabelle 1:
Differenziell exprimierte Proteine in unbestrahlten und bestrahlten radioresistenten und radiosensitiven lymphoblastoiden Zellen

MS-Analyse 2D-DIGE		lymphoblastoid cell lines L334 and L348		1h after 4Gy		upregulation in		
rank	spot-ID	protein	function (examples)	size (kDa)	pI	factor	resistant	sensitive
3	S1-0007-E3-21	GST omega 1	glutathione transferase activity	27,5	5,54	7,4	+	+
7	S1-6518-F3-22	PNP (purine nucleoside phosphorylase)	glycosyltransferase, nucleoside phosphorylase	32,2	7,61	5,5	+	+
7		enoyl-CoA hydratase-like	isomerase, metabolism	32,7	5,9	5,5	+	+
9	S1-0066-A2-09	stress-70 protein (HSPA2B, Mortalin)	chaperone, cell proliferation, senescence	73,6	5,01	4,5	+	+
9		propionyl-CoA carboxylase alpha	metabolism	75,5	5,72	4,5	+	+
13	S1-0066-A4-26	NME1 (NM23A, NDK A)	cell cycle, proliferation, apoptosis	17,1	5,11	2,7	+	+
14	S1-0073-D1-04	Dipeptidyl-peptidase 3	metalloprotease, aminopeptidase, exopeptidase	82,5	4,74	2,6	+	+
18	S1-6352-C3-20	MHC II antigen	immune response	30	5,7	2,4	+	+
18	S1-0019-H3-24	ACPF1	tyrosine and acid phosphatase	18	5,73	2,3	+	+
25	S1-4178-E1-05	ASCC1 (activating signal co-receptor)	transcription regulation, RNA-binding	41,2	5,22	2,1	+	+
1	S1-4879-D2-12	CAPG (gelatinin-like capping protein)	actin capping	38,5	5,12	1,1	+	+
4	S1-0003-G3-33	PQAM1	glycolysis	28,8	5,67	7	+	+
10	S1-0008-G1-07	IGHM	antigen-binding	67,5	5,56	3,4	+	+
10		p81 (cyclolin, spm)	cell shape, actin-binding	59	5,17	3,4	+	+
12	S1-3196-F1-06	GCTB	chaperone	60	5,5	2,8	+	+
12		GCT5	chaperone	60	5,5	2,8	+	+
12		IRF3 (interferon regulating factor 3)	transcription regulation, DNA-binding	66,0	5,5	2,8	+	+
12		caspase-3	serine/threonine kinase activity, cell death	60,1	5,57	2,8	+	+
12		hnRNPK isoform CRA_1	RNA-binding, cell cycle progression?	51,2	5,3	2,8	+	+
21	S1-1554-F1-08	vinculin	cell adhesion	115,7	5,83	2,3	+	+
22	S1-7855-B4-26	glyoxalase I	anti-apoptotic, carbohydrate metabolism	20,8	4,92	2,3	+	+
22		Ca-binding p22	calcium ion inhibitor, membrane traffic	22,4	4,73	2,3	+	+
25	S1-0035-C2-11	crystallin, mu	binds thyroid hormone	30,1	4,92	2,2	+	+
27	S1-0012-B2-10	PQM1	glucose metabolism	51,4	5,7	2,1	+	+
27		cortinin 1A	actin-binding, cell adhesion	51	5,57	2,1	+	+
27		HSP60 (chaperonin 60)	chaperone	61	5,55	2,1	+	+
27		pyruvate kinase M2	glycolysis	57,9	7,04	2,1	+	+
29	S1-0023-A3-17	GSTP1	glutathione transferase activity	23,3	5,3	2	+	+
29		DJ-1 (PARK7)	oxidative stress response, cell proliferation	20,9	~5	2	+	+

5.3.1 1D-PAGE-Analyse der Proteine Mortalin und GSTo1 in lymphoblastoiden Zellen der Linien L334 und L349

Wie aus Abbildung 1 zu erkennen ist, zeigt sich der in der 2D-DIGE stark ausgeprägte Expressionsunterschied sowohl ohne als auch mit Strahlenexposition nur für das GSTo1 Protein, nicht aber für Mortalin. Während GSTo1 in radiosensitiven L349 nur sehr geringgradig gegenüber radioresistenten L334 Zellen exprimiert ist, ist der Expressionsunterschied für Mortalin gut erkennbar, aber deutlich geringer als in der 2D-DIGE-Analyse. Obwohl unter 1D-PAGE Bedingungen die Expressionsunterschiede bzgl. Mortalin in radioresistenten und radiosensitiven lymphoblastoiden L334 und L349 Zellen nicht so deutlich zu beobachten sind wie in der 2D-DIGE-Analyse, ist jedoch sehr auffällig, dass deutliche differenzielle Unterschiede in der Phosphorylierung von Mortalin an Tyrosin- und Serinresten zwischen radioresistenten und radiosensitiven Zellen nach Strahlenexposition zu beobachten sind (Abbildung 2). Diese Beobachtung legt den Schluss nahe, dass die aktivierte, d. h. phosphorylierte Form von Mortalin sehr wahrscheinlich eine regulatorische Funktion in der zellulären Strahlenantwort zukommt. Dies belegen auch Studien, die zeigen konnten, dass Mortalin ein Substrat der ATM-Kinase ist, einem Sensorprotein für Strahlenschäden und Induktor der frühen strahleninduzierten Signaltransduktion sowohl in Tumor- als auch Normalzellen (Matsuoka et al. 2007).

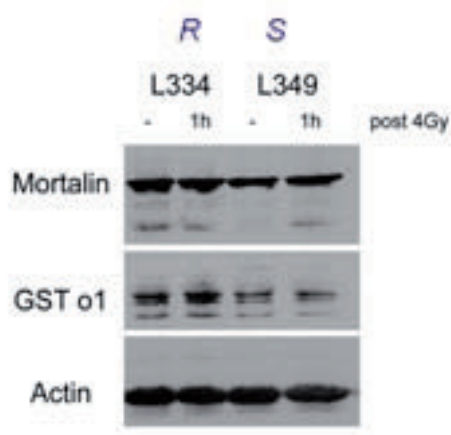


Abbildung 1:
Western-Blot-Analyse der Expression von Mortalin und GSTo1 in L334 (radioresistent) und L349 (radiosensitiv) Zellen mit (1 h) und ohne Bestrahlung (-)

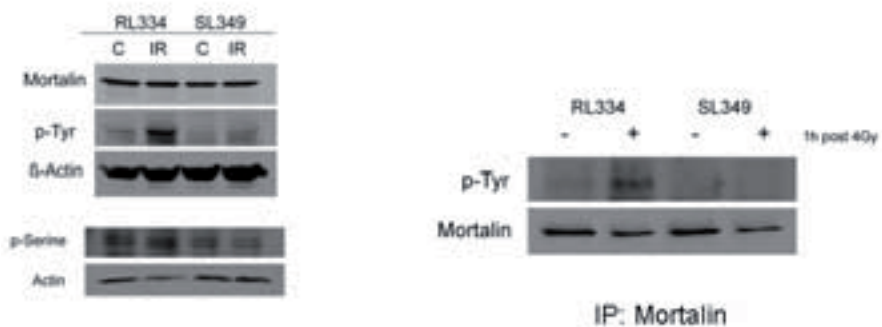


Abbildung 2:
Phosphorylierungsunterschiede des Mortalins in bestrahlten radioresistenten (RL 334) und radiosensitiven (SL 349) lymphoblastoiden Zellen

5.3.2 Mortalin-Analyse in radioresistenten A549-Tumorzellen

Um detaillierte Untersuchungen bzgl. der Funktion von Mortalin unter dem Gesichtspunkt der Radioresistenz machen zu können, wurden von der humanen Lungenkarzinomzelllinie A549 resistente Sublinien durch wiederholte Bestrahlung und klonale Selektion etabliert. Strahlenresistente A549-R-Zellen zeigen bereits vor Strahlenexposition eine starke Basalphosphorylierung des Mortalins. Dies spiegelt den basalen Phosphorylierungszustand des Mortalins in radioresistenten L334 wider.

5.4 2D-DIGE-ANALYSE VON PRIMÄREN LYMPHOZYTEN RADIORESISTENTER, NORMALER UND RADIOSENSITIVER EINEIIGER ZWILLINGE

5.4.1 Identifizierung differenziell auftretender Proteine in radioresistenten und radiosensitiven primären Lymphozyten

Tabelle 2 fasst die massenspektrometrisch identifizierten Proteine zusammen, die entweder bereits in nicht bestrahlten oder nach Strahlenexposition in radioresistenten und radiosensitiven primären Lymphozyten differenziell exprimiert sind. Im Gegensatz zu den lymphoblastoiden Zellen unterschiedlicher Radiosensitivität konnten hierbei für radioresistente primäre Lymphozyten zwei Proteine als eindeutig überexprimiert identifiziert werden. Dies sind zum einen das Chloridionenkanal-Protein CLIC1 und die α -Enolase. Aus Tabelle 2 ist weiterhin zu erkennen, dass radiosensitive primäre Lymphozyten insgesamt 6 Proteine im Vergleich zu den normal sensitiven bzw. radioresistenten Lymphozyten in signifikant reduzierter Form präsentieren. Hierzu gehört im Proteinspot mit der ID-Nr. 3 das Protein LCP1, welches eine Funktion in der Formation von Aktin-Bündeln des Zytoskeletts hat. Interessanterweise zeigt das Protein CLIC1, welches in radioresistenten primären Lymphozyten deutlich überexprimiert wird (s. o.), eine signifikante Reduktion in radiosensitiven primären Lymphozyten. Des Weiteren fällt auf, dass die Enolase-1 nach Identifizierung im Spot 12 signifikant in radiosensitiven primären Lymphozyten reduziert ist, während das als ENO1 identifizierbare Protein (Spot-ID 33) in gleicher Weise keine Reduktion der Expression gegenüber radioresistenten primären Lymphozyten aufweist. Die Erklärung hierfür kann im Moment nicht erbracht werden.

Tabelle 2:
Identifizierte Proteine in normal sensitiven (N), radioresistenten (R) und radiosensitiven (S)
primären Lymphoblasten

spot-ID	protein	function (examples)	size (kDa)	pI	Basal upregulation factor			Upregulation level			Irradiation induction		
					R	N	S	R	N	S	R	N	S
3	Trap100 (thyroid hormone receptor-associated protein complex 100kDa component)	Transcription factor, role in androgen receptor signaling pathway	100	6.51									
	LCP1 (β -Plastin)	Actin bundle formation	71	5.20	n.s.	1	-3.08	-3.12	+	+	-	+	+/-
	Annexin A1	Calcium/phospholipid-binding, exocytosis, regulates PLA2 function	39	6.64									
5	CLIC1 (Chloride intracellular channel 1)	Forms Cl ion channels	27	5.09									
6	Glutaredoxin-1	glutathione-disulfide oxidoreductase activity	12	8.33	n.s.	1	-2.98	-3.09	+	+	-		
12	CLIC1	Forms Cl ion channels	27	5.09	n.s.	1	-2.47	-2.94	+	+	-		
13	CLIC1	Forms Cl ion channels	27	5.09	n.s.	1	n.s.	-2.35	+	+/-	-		
15	ENO1 (Alpha-Enolase)	Glycolysis, hypoxia tolerance, growth control	47.5	6.99	n.s.	1	n.s.	-2.22	+	-	-		
16	WNT7A	Development, frizzled ligand	40.4	9.05	n.s.	1	n.s.	-2.09	+	+/-	-	+	+
18	ATP-Synthase subunit beta	ATP-Synthase	56.5	5.25	n.s.	1	+2.01	+2.12	-	-	+		
21	Vimentin	Intermediate filament protein	53.7	5.06	n.s.	1	+2.06	+2.51	-	-	+		
25	PDIA1 (Protein Disulfide-isomerase, p55)	Multifunctional, catalytic activity, chaperone	57.5	4.78	-3.35	1	n.s.	+4.41	-	+	+		
30	Coronin 1A	Cell motility	61.7	6.25	n.s.	1	+2.17	n.s.	+/-	-	+	+	+
33	ENO1 (Alpha-Enolase)	Glycolysis, hypoxia tolerance, growth control	47.5	6.99	+3.25	1	+2.72	n.s.	+	-	+		

Das Protein Glutaredoxin-1 zeigt in radiosensitiven primären Lymphoblasten eine stark reduzierte Expression. Glutaredoxin-1 ist ein wesentlicher Faktor der zellulären Redox-Homeostase und hat damit auf Grund seiner Glutathiondisulfidreduktase-Aktivität eine wesentliche Funktion in der Detoxifikation von z. B. durch ionisierende Strahlung entstehenden freien Radikalen und reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) (Biaglow et al. 2003).

Ein weiteres in radiosensitiven primären Lymphozyten reduziert auftretendes Protein ist das Protein WNT7A, das eine massive Reduktion gegenüber normalen und radioresistenten primären Lymphozyten aufweist. Proteine der WNT-Familie sind entscheidend wichtige Signaltransduktoren in der WNT- und β -Catenin-Kaskade und haben sowohl in der Onko- bzw. Karzinogenese als auch in der Strahlenreaktion eine wichtige Rolle. Insbesondere neuere Arbeiten belegen, dass der WNT-Signalweg eine Regulation der Radiosensitivität über eine Cyclooxygenase-2-vermittelte Expression von Ku70 / 80-Proteinen ausübt. Ku70 / 80-Proteine sind wichtige Faktoren des DNA-PK (Desoxyribonucleinsäure-Proteinkinase)-abhängigen Reparaturmechanismus NHEJ (non homologous end joining) für DNA-Doppelstrangbrüche. Zudem ist bekannt, dass das WNT-Signaling über diesen Kontrollmechanismus einen deutlich radioprotektiven Mechanismus darstellt. Somit kann bei einer signifikant reduzierten Expression von Proteinen der WNT-Klasse eine erhöhte Radiosensitivität, bedingt durch eine eingeschränkte DNA-Doppelstrangbruch-Reparatur, gegeben sein. Sowohl in normal sensitiven als auch in radioresistenten primären Lymphozyten ist das Protein Wnt7A in gleicher Weise

signifikant induzierbar, während es in radiosensitiven Lymphozyten nicht induziert wird. Das Protein Coronin1a ist in der Weise auffallend, als dass es nicht in normal sensitiven, aber in radioresistenten bzw. radiosensitiven Lymphozyten induzierbar ist, gleichzeitig aber auch eine Überexpression in sensitiven Lymphozyten zeigt.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

In der Strahlenforschung muss nicht nur die Wirkung der Strahlung auf die DNA, das Erbgut, untersucht werden sondern auch andere zelluläre Strahlenreaktionen, um die Wirkung und Risiken ionisierender Strahlung richtig bewerten zu können. Das Forschungsvorhaben lieferte durch die Untersuchung des Zellproteoms nach In-vitro-Bestrahlung Ergebnisse, die als Basis für die Entwicklung von Biomarkern zur Strahlenexposition und zur individuellen Strahlenempfindlichkeit angesehen werden können sowie zum Verständnis der Strahlenreaktion der Zelle beitragen. Dieses Wissen wird in nachfolgende Vorhaben der Ressortforschung eingehen.

Thema Ermittlung der individuellen Strahlenempfindlichkeit im Rahmen von Risikoanalysen bei niedrigen Dosen und im Hinblick auf eine optimale therapeutische Strahlenanwendung			
Subject <i>Determining individual radiation sensitivity in the frame of risk analyses at low doses and with respect to an optimized radiation therapy</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3605S04494	Beginn 01.10.2005	Ende 31.12.2009	Fördermittel EUR 552.069,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz-Zentrum München			
Projektleitung Prof. Dr. M. J. Atkinson	Fachbetreuung BfS Dr. B. Grosche / AG-SG 1.4		verantwortlich für den Text Prof. Dr. M. J. Atkinson, Dr. B. Grosche

1. ZIELSETZUNG

Strahlenbelastungen im Bereich niedriger Dosen von 20 - 100 mSv durch natürliche und kosmische (extraterrestrische) Hintergrundstrahlung, durch Flugreisen in extremen Höhen, am Arbeitsplatz und durch medizinische Aufnahmetechniken zu Diagnosezwecken werden auch in absehbarer Zukunft nicht aufzuhalten sein. In besonderen Situationen, z. B. bei lang andauernden Raumflügen oder bei hochauflösenden CT-Diagnoseverfahren, kann die Strahlenbelastung deutlich über 100 mSv liegen. Derzeit gibt es unterschiedliche Meinungen zum Risiko einer Strahlenbelastung in diesem Dosisbereich und noch wenige fundierte Kenntnisse über deren biologische Effekte. Das im Wesentlichen vertretene Paradigma der Strahlenbiologie geht von einer linearen Beziehung zwischen Dosis und DNA (Desoxyribonucleinsäure)-Schädigung aus, die ihrerseits wiederum eine lineare Gewebereaktion als gesichert ansieht. Alternative biologische Modelle gehen davon aus, dass Reaktionen im Niedrigdosisbereich nicht durch DNA-Schäden hervorgerufen werden. Auf Grund einer Fülle von noch nicht hinreichend verstandenen „non-targeted“-Effekten ist die lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung in Frage gestellt worden. Daher ist diese Unsicherheit über die Grundlagen der Reaktionen auf Strahlung im Bereich niedriger Dosen, insbesondere die Möglichkeit unterschiedlicher Reaktionen in verschiedenen Geweben und Organen, ein Schlüsselgebiet der zukünftigen Forschung.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben umfasste drei Themenbereiche, die für den Strahlenschutz von großer Bedeutung sind:

- Aufbau der Expertise, die für Beratungen im politischen und wissenschaftlichen Raum genutzt werden kann;
- Entwicklung eines Trainings- und Ausbildungsprogramms im Institut für Strahlenbiologie (ISB) des Helmholtz Zentrums München für Umwelt und Gesundheit (HMGU) in Zusammenarbeit mit den Münchener Universitäten und weiterer Institutionen im Raum München zum Kompetenzerhalt in der Strahlenbiologie;
- Erstellung eines kompetitiven Forschungsprogramms, bei dem Krebs und kardiovaskuläre Schäden als Paradigma verwendet werden, um die schädigenden Auswirkungen einer Strahlenexposition auf die Gesundheit bei niedrigen Dosen zu bewerten.

3. DURCHFÜHRUNG

3.1 AUFBAU DER EXPERTISE FÜR BERATUNGEN IM WISSENSCHAFTLICHEN UND POLITISCHEN RAUM

Für den Aufbau einer anerkannten Expertise wurden die Aktivitäten in der Strahlenforschung innerhalb des HMGU gebündelt, und es wurden Kooperationen mit weiteren kompetenten, im Raum München ansässigen

Institutionen aufgebaut (Technische Universität München (TUM), Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), Bundesamt für Strahlenschutz, Universität der Bundeswehr).

Durch diese Kooperationen war das ISB sehr erfolgreich bei der Projekteinwerbung im Rahmen der BMBF/BMU-Initiative zum Kompetenzerhalt in der Strahlenforschung „KVSF“. Eine Einbindung des ISB in die wissenschaftspolitische Beratung durch Mitwirkung in Kommissionen sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene wurde bereits erreicht. Das HMGU wurde Mitglied von MELODI (Multidisciplinary European Low Dose Initiative), und das ISB ist Partner des EURATOM Network of Excellence DoReMi.

3.2 ERSTELLEN EINES TRAININGS- UND AUSBILDUNGSPROGRAMMS

Als Partner in drei Kompetenzverbund-Projekten des BMBF ist das ISB einbezogen in die Ausbildung von jungen Nachwuchswissenschaftlern/innen. Im Rahmen des HELENA Ausbildungsprogramms (Helmholtz Graduiertenkolleg Environmental Health) werden alle 400 Doktoranden/innen des HMGU durch Seminare und Vorlesungen Grundkenntnisse in Strahlenbiologie erhalten. Ausgewählte Studierende erlernen strahlenbiologische Methoden in zweiwöchigen Laborkursen.

Die Doktoranden/innen des ISB werden motiviert und finanziell unterstützt, um an nationalen und internationalen Tagungen teilzunehmen.

3.3 ERSTELLEN EINES GRUNDLEGENDEN FORSCHUNGSPROGRAMMS

Das Forschungsprogramm des ISB wurde so umstrukturiert, dass es die fokussierte Ausrichtung des HMGU auf ‚Environmental Health‘ als übergreifende Thematik widerspiegelt sowie die intensiven Bemühungen des ISB, die biologischen Antworten von Zellen und Geweben auf die Exposition durch niedrige Strahlendosen zu analysieren und besser zu verstehen.

Im Institut wurden vier Gruppen gebildet, die komplementär wichtige Gebiete der Strahlenforschung bearbeiten:

- Experimentelle Strahlentherapie,
- Individuelle Suszeptibilität und Krebsrisiko nach Strahlenexposition,
- Kardiovaskuläre Strahlenschäden nach Exposition durch niedrige Dosen,
- Mechanismen der Antworten von Zellen und Geweben auf niedrige Strahlendosen.

4. ERGEBNISSE

4.1 EXPERIMENTELLE STRAHLENTHERAPIE

Es wurde ein Forschungsprogramm in Zusammenarbeit mit dem Institut für Strahlentherapie der TU München und dem Institut für Strahlentherapie der LMU konzipiert, das die Untersuchung der regulatorischen Effekte von micro-Ribonucleinsäure (miRNA)-Molekülen auf den Verlauf der Strahlenantwort zum Inhalt hat.

4.1.1 Akute miRNA-Antworten auf Strahlung

Es wurden miRNA-Spezies identifiziert, die durch Strahlenexposition hoch- oder herunterreguliert werden. Insbesondere wurden in einer Anzahl etablierter Zelllinien die miRNA Antworten auf Strahlung analysiert. Diese Studien zeigen, dass die Antworten auf Strahlen zellspezifisch und ihre Kinetiken biphasisch sind. Ein Set von miRNAs ist schnell innerhalb von 1 – 4 Stunden exprimiert, ein zweites Set von miRNAs ist erst nach 24 Stunden nachzuweisen. Die biologischen Funktionen der regulierten miRNA-Spezies wurden untersucht durch gezielte Herabregulation („knock-down“) zweier Proteine, die für die enzymatische Prozessierung der prä-miRNA-Moleküle verantwortlich sind. Dadurch wird die Expression der gesamten miRNA in den Zellen unterbunden. Es konnte bestätigt werden, dass ein knock-down der mRNA Expression der Proteine Dicer und Ago2 die Bildung von miRNAs unterbindet, und es wurde beobachtet, dass gleichzeitig der Zelltod nach Bestrahlung zunimmt. Dass Dicer- und Ago2-prozessierte miRNAs tatsächlich für das Zellüberleben benötigt werden, wurde durch Expression ausgewählter strahleninduzierter miRNAs in Dicer- und Ago2-negativen Zellen nachgewiesen. Nach Bestrahlung war das Zellüberleben in diesen Zellen normal, was eindeutig belegt, dass die Expression ausgewählter miRNAs die Zellen vor dem strahleninduzierten Zelltod retten kann. Die Zielmoleküle der miRNAs, die das Überleben von bestrahlten Zellen verbessern, wurden untersucht, denn sie könnten Targets für die Entwicklung von therapeutisch wirksamen Pharmaka sein, durch die die Wirksamkeit der Strahlen in der Therapie verstärkt werden könnten.

4.1.2 MicroRNA-Expression und Prädiktion der Wirkung von Strahlentherapie

Es wurden die Änderungen in der miRNA-Expression nach Bestrahlung in verschiedenen Brusttumor-Zelllinien charakterisiert. Eindeutig gibt es zwei verschiedene Sets von miRNA-Spezies, deren Regulation entweder schnell (4 h nach Bestrahlung) oder langsamer (24 h nach Bestrahlung) erfolgt. Diese Ergebnisse sind mit denen anderer Zelllinien vergleichbar, aber in den Brustkrebslinien konnte ein spezifisches Set regulierbarer miRNAs nachgewiesen werden. Deren Art der Regulation der Expression lässt eine koordinierte, funktionelle Antwort auf Strahlung vermuten und weniger eine generelle Reaktion auf Stress. Studien haben gezeigt, dass die identifizierten miRNAs an der Regulation des strahleninduzierten Zelltods durch Apoptose beteiligt sind (siehe oben). Folglich wurde untersucht, ob die miRNA-Antwort auf Strahlung in Brustkrebs-Zellen ein Indikator für deren Strahlenempfindlichkeit sein könnte.

4.1.3 MicroRNA-Antwort und kardiovaskuläre Schädigung nach Bestrahlung

Das vaskuläre Endothel ist ein sehr strahlenempfindliches Gewebe und vaskuläre Schädigungen werden als mögliche Ursache für einen späten Strahlenschaden des Herzens angesehen. Sogar niedrige bzw. moderate Strahlendosen wurden mit einer erhöhten Häufigkeit tödlich verlaufender kardiovaskulärer Erkrankungen in Verbindung gebracht. Die Arbeitshypothese war, dass phänotypische Änderungen der vaskulären Funktionen primär zu Vaskulopathien führen und sekundär zur Schädigung des Herzens.

In einem globalen Screening der Endothelialzelllinie (Ea.hy926) wurden miRNA-Spezies nach einer Exposition von 0,2 Gy quantitativ erfasst. Von 378 analysierten miRNAs waren 176 nachweisbar, davon wiesen 64 miRNAs signifikante Veränderungen 4 h oder 24 h Stunden nach Strahlenbelastung auf. Der größte Teil der betroffenen miRNAs zeigte relativ geringe Veränderungen (2fach) in ihrer Expression, aber ein Set von 22 miRNAs wies 3- bis 10fache Veränderungen der Expression auf. Eine funktionelle Analyse und Vorhersagen der Zielmoleküle der miRNAs auf der Grundlage der Datenbank miRBase wurden durchgeführt, um die Veränderungen der miRNAs mit den globalen proteomischen Veränderungen bei endothelialen Zellen zu vergleichen. Diese Strategie wird es erlauben, die potenziellen Targets für die Entwicklung kardiovaskulärer Krankheiten nach einer Strahlenbelastung vorherzusagen.

4.1.4 Individuelle biologische Dosimetrie und zelluläre Strahlensensitivität

In der Strahlentherapie entwickeln Patienten sowohl akute als auch chronische deterministische Schäden im Normalgewebe. Bei einer kleinen Zahl an Individuen sind diese Veränderungen so schwer, dass sie die normalen Gewebefunktionen beeinträchtigen. Eine eindeutige genetische Assoziation mit defekter DNA-Reparatur ist für eine kleine Gruppe dieser hypersensiblen Individuen nachgewiesen, die restlichen sind idiopathisch. Ziel in diesem Projekt war es, bestimmte Parameter für zelluläre Strahlenantworten zu finden, um spezifisch Überempfindlichkeit gegen Strahlung vorherzusagen. Der Assay für DNA-Reparatur-Foci wurde durch eine Kombination von gammaH2AX and 53pb1 Immunohistochemie modifiziert. Dieser Assay hat eine niedrigere Hintergrundrate für die Detektion sporadischer gammaH2AX-Foci, und er zeigt eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung von 0,5 bis 5 Gy.

4.2 INDIVIDUELLE SUSZEPTIBILITÄT UND KREBSRISIKO NACH STRAHLENEXPOSITION

4.2.1 Rolle des Retinoblastomgens für die Bestimmung individueller Strahlenszeptibilität

Individuen mit Keimbahn-Mutationen, die zur Inaktivierung des Retinoblastom-Tumorsuppressor-Proteins (RB1) führen, zeigen nach Strahlentherapie ein vieltausendfach erhöhtes Risiko, ein sekundäres Osteosarkom zu entwickeln. Es wurde eine Allelvariante des Rb1 Gens identifiziert, die in der Maus Suszeptibilität für ein strahleninduziertes Osteosarkom verursacht. Es wurde nun ein Mausmodell für Retinoblastomgen-Defizienz entwickelt, um den Mechanismus zu analysieren, wie Rb1 diese Suszeptibilität beeinflussen kann.

Frühere Studien über Deletionen des Rb1 Gens in der Maus zeigten embryonale Letalität in homozygoten Rb1-Null Mäusen (Rb1^{-/-}) und ein sehr schnelles Auftreten von Tumoren der Hypophyse in heterozygoten Rb1^{+/-} Tieren. Um dieses Problem zu umgehen, wurde die Rb1 Deletion gezielt in das Genom von knochenbildenden Zellen eingeführt, indem ein Mausstamm mit einem geflochten Rb1 Allel (Rb1 fl⁺) mit einem Mausstamm gekreuzt wurde, der die Cre-Rekombinase unter der Kontrolle eines knochenzellspezifischen Collagen Typ I Promotors exprimiert. Die Expression von Cre während der frühen Osteoblastenentwicklung wird somit das geflochte Rb1 Allel nur in Knochenzellen inaktivieren und die übrigen Gewebe der Maus unbeeinflusst lassen. Die Analyse der Cre-Expression sowie des lacZ-Reportergens, das Zellen markiert, in denen Cre die geflochten Sequenzen ausschneidet, und der Nachweis eines deletierten geflochten Rb1-Allels ausschließlich in Zellen, die aus Knochen abgeleitet wurden, beweisen, dass eine spezifische somatische Deletion eines einzigen Rb1-Alleles in den Knochenzellen erzeugt wurde.

Eine Behandlung dieser Tiere mit osteosarkom-induzierenden Dosen des knochen-suchenden alpha-Strahlen-emittierenden Th-227 führte zu der erwarteten stark erhöhten Induktion von Osteosarkomen, die mit der Deletion des gefloxten Rb1-Alleles assoziierte. Der Mechanismus, durch den die reduzierte Rb1-Funktion die Tumorsuszeptibilität beeinflusst, wurde durch In-vitro-Studien an osteoblastischen Zellen untersucht, die aus Knochenexplantaten gezüchtet wurden. Zellen aus Rb1 defizienten Tieren zeigten den erwarteten Verlust des strahleninduzierten Zellzyklus-Arrests in G1 sowie eine erhöhte genomische Instabilität, die sich durch eine Zunahme an Zellen mit Mikrokernen äußerte, sowie einer Zunahme der Zellen, in denen Anaphasebrücken nachweisbar waren.

Anaphasebrücken sind ein typisches Merkmal von Zellen, die abwechselnd Zyklen von chromosomalen Brüchen und erneuten Fusionen durchlaufen, was auf eine vorzeitige Verkürzung der Telomere zurückgeführt wird. Die Analyse der Telomerlängen in den Rb1 defizienten Zellen zeigte eine signifikante Verkürzung der Telomere. Obwohl der Mechanismus unbekannt ist, durch den Rb1 Defizienz zu verkürzten Telomeren führt, untermauert dieser Befund eine kohärente und logische Erklärung für die erhöhte Sensitivität gegen ionisierende Strahlung von Zellen, die keine volle Rb1 Expression besitzen.

4.2.2 Mapping von allelischen Ungleichgewichten strahlenbedingter Sarkome bei Mäusen unter Verwendung von „Whole-Genome-SNP-Arrays“

Die Verwendung von F1-Hybrid-Mäusen aus unterschiedlichen Inzuchtstämmen erlaubt das Mapping von Tumorspezifischen allelischen Verlusten und Ungleichgewichten durch komparative Genotypisierung (Erbbilderstellung) von normalem DNA-Gewebe gegenüber dem Tumorgewebe. Um diesen Ansatz durch eine „Whole-Genom-Abdeckung“ anzuwenden, wurden Illumina-Maus-MD-SNP-Arrays (Golden Gate) auf einem Set von ungefähr 80 strahleninduzierten Osteosarkomen eingesetzt, die in BALBxB6- und BALBxCBA-Mäusen induziert wurden. Chromosomale Bereiche mit potenziellen allelischen Verlusten wurden unter Verwendung von LOH-Modulen (Teil der Illumina Bead Studio Software) identifiziert, die auf diskreten Genotypen basieren und die mit einem selbst entwickelten Verfahren verglichen wurden, das eine stetige LOH-Wahrscheinlichkeit und ein adaptives Thresholding (Schwellwertverfahren) verwendet. Es wurde gezeigt, dass es durch das Ausblenden von nicht-informativen SNP-Markern gefolgt von der Berechnung von Schwellwertverfahren möglich ist, neue chromosomale Loci mit Osteosarkom-spezifischen allelischen Verlusten zu entdecken. Als Nachweis der grundsätzlichen Wirksamkeit (Proof of principle) konnten häufige Veränderungen beim Chromosom4-Locus (p15/p16/p19) nachgewiesen werden, der bereits in einer früheren Studie unter Verwendung von Microsatelliten gekennzeichnet wurde. Der am häufigsten wiederauftretende LOH-Locus in der vorliegenden Studie wurde auf dem Chromosom13 gefunden.

4.2.3 Genetische Empfindlichkeit für strahleninduzierten Schilddrüsenkrebs

In-vivo-Studien über die genetische Disposition, die für die verstärkte Entwicklung von Schilddrüsenkrebs verantwortlich ist, wurden mit Inzucht-Mausstämmen fortgesetzt. Ziel war es, Stämme zu identifizieren, die mehr oder weniger empfindlich gegen Iod-131-induzierten Schilddrüsenkrebs sind. Es wurden die C57/Black 6, BALB/c and JF1 Stämme verglichen. Die verschiedenen Inzucht-Stämme wurden entweder mit internem I-131 oder externer Röntgenstrahlung, die auf die Schilddrüse fokussiert war, behandelt.

Die Inzidenz der Schilddrüsenerkrankungen wurde über 1,5 Jahre verfolgt und von einer histopathologischen Analyse in operativ entferntem Gewebe der Schilddrüse begleitet. Diese Studien ergaben, dass der JF1 Stamm hochresistent gegen die karzinogene Wirkung von Radioiod ist. Dieser Stamm ist abgeleitet von *Mus molussinus* und ist deshalb genetisch unterschieden von den Standard Labor-Mausstämmen, die sich von *Mus musculus* ableiten. Diese Unterschiede werden die Identifizierung der Suszeptibilitätsgene durch QTL-Mapping ermöglichen. JF1 ist nicht generell strahlenresistent, denn der Stamm zeigte eine normale Empfindlichkeit für die Induktion von Osteosarkomen nach der Exposition mit knochen-suchenden Radionukliden.

In einer anderen Studie wurde beobachtet, dass der FVB Mausstamm, der in den Studien zur Analyse der Osteosarkomgenese verwendet wurde, eine hohe Inzidenz von Schilddrüsentumoren zeigte. Dosimetrische Berechnungen ergaben, dass die Gammadosis der Schilddrüse viel niedriger war als die Dosen, die zur Erzeugung von Schilddrüsenkrebs in der resistenten JF1 Maus nötig waren.

4.3 KARDIOVASKULÄRER STRAHLENSCHADEN NACH EXPOSITION MIT NIEDRIGEN DOSEN

Epidemiologische Evidenzen der vergangenen Jahre haben einen Hinweis darauf erbracht, dass eine Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen der Exposition mit ionisierender Strahlung und einem späten Auftreten von kardiovaskulären Erkrankungen existiert. Während hohe Strahldosen schnellen Zelltod und Verletzungen des Vaskulatur induzieren können, lässt die epidemiologische Analyse die Vermutung zu, dass sich das Det-

riment weit unter 1 Gy ausdehnt. Es wurden In-vivo- und In-vitro-Modellsysteme entwickelt, um die biologischen Effekte zu studieren, die durch eine Strahlenexposition mit weniger als 1 Gy induziert werden.

4.3.1 Analyse der proteomischen Veränderungen der vaskulären Endothelzellen bei einer Niedrigdosisbestrahlung nach der DIGE/MALDI-TOF/TOF-Methode

Neueste epidemiologische Untersuchungen deuten darauf hin, dass mittlere und niedrige Strahlenbelastungen des Herzens zu einer moderaten, aber signifikanten Erhöhung der kardiovaskulären Sterblichkeit führen. Ziel dieser Studie war es, über einen proteomischen Ansatz neue molekulare Targets zu identifizieren, die an der Pathogenese strahleninduzierter kardiovaskulärer Krankheiten beteiligt sind. Da das vaskuläre Endothel eine Schlüsselrolle bei der Regulierung der kardiovaskulären Funktion spielt, wird es als das Zielgewebe in dieser Studie angesehen.

Als Modellsystem wurde die menschliche endotheliale Zelle Ea.hy926 untersucht. Um den Einfluss der Veränderungen bei einer Niedrigdosisbestrahlung zu kennzeichnen, wurden sowohl Untersuchungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten vorgenommen (nach 4 und nach 24 Stunden) als auch mit unterschiedlichen Dosisraten (Co-60 Gamma-Strahlen; Gesamtdosis 200 mGy; 4 mGy/min und 40 mGy/min). Die Proteine wurden in einer zweidimensionalen Gel-Elektrophorese unter Verwendung der Differenz-Gel-Elektrophorese (DIGE)-Technologie getrennt. Unterschiedlich exprimierte Proteine wurden durch In-Gel-Trypsin-Verdau, MALDI-TOF/TOF in tandem bzw. nacheinander geschalteter Massenspektrometrie und peptider Mass-Fingerprinting-Analyse identifiziert.

Von mehr als 50 Proteinspots, die signifikante Veränderungen zeigten, konnten 22 Proteine identifiziert werden, von denen elf hochreguliert und elf herunterreguliert waren; 17 Proteine zeigten dabei Unterschiede zu den Zellen, die keiner Strahlenbelastung ausgesetzt waren, um mehr als das $\pm 1,5$ fache.

Es konnte gezeigt werden, dass die relativ niedrige Dosis von 200 mGy Gamma-Bestrahlung das endotheliale Zytoplasma-Proteom während der ersten 24 Stunden nach Bestrahlung signifikant verändert. Diese Resultate zeigen die Bedeutung der Proteomik beim Aufspüren neuer biologischer Target-Moleküle in einem kritischen Gewebe.

4.3.2 Akute Niedrigdosis-Effekte auf das zelluläre Proteom in einem In-vitro-Endothelialzell-Modell

In einer humanen endothelialen Zelllinie wurden sowohl die miRNA (siehe 4.1.3) als auch strahleninduzierte Änderungen im zellulären Proteom untersucht. Es wurde die SILAC Technologie verwendet, um ultrasensitive Proteinexpressionsdaten zu erhalten, da die Änderungen in den Proteinmengen vermutlich klein sind. SILAC beinhaltet die Substitution normaler Aminosäuren mit isotopen-markierten (N-15, C-13) Aminosäuren in kultivierten Zellen (wobei sog. schwere Zellen erzeugt werden), so dass alle Proteine eine molekulare Masse zeigen, die um ein oder zwei Dalton erhöht ist. Durch Mischen gleicher Anteile von Proteinen, die aus normalen (N-14, C-12) markierten Zellen (sog. leichte Zellen) und den schweren Zellen extrahiert wurden, kann das Verhältnis der schweren zu den leichten Proteinen durch hochauflösende Massenchromatographie bestimmt werden. Jegliche Behandlung der leichten oder schweren Zellen, die die natürliche Menge des Proteins betrifft, wird als Verschiebung im Verhältnis der leichten und der schweren Formen des Proteins erkennbar.

4.3.3 Langzeit-Strahlenschäden der Kardiovaskulatur, die sich in Änderungen im Proteom ausdrücken

Es wurde eine Funktions- und Proteom-Analyse von Gewebeproben von Herzen durchgeführt, die nach Bestrahlung von C57/B6 apoE^{-/-} Mäusen gewonnen wurden. Ausschließlich das Herzgewebe der Tiere wurde bestrahlt und die anderen Organe, auch die Lunge, wurden durch Blei geschützt. Die ausschließliche Bestrahlung des Herzens wurde durch CT-Imaging kontrolliert. Nach der Bestrahlung wurden nach 20 oder 40 Wochen die Herzen der Tiere entnommen, und es wurden Gewebelysate für die Proteom-Analyse hergestellt. Mittels der 2D DIGE wurden Änderungen im zellulären Proteom identifiziert, die auch nach 20 Wochen noch vorhanden waren.

Eine Anzahl von Kandidatenproteinen wurde identifiziert und durch Western Blot Analyse verifiziert. In allen Fällen standen geeignete monoklonale Antikörper zur Verfügung, so dass die strahleninduzierten Änderungen in den Proteinen bestätigt werden konnten. Die Proteine, für die eine Antwort auf Strahlen identifiziert werden konnte, umfassen solche, die für die Aktivität der Mitochondrien, Entzündungsreaktionen und Zellmotilität eine Rolle spielen. Änderungen in der mitochondrialen Funktion wurden durch Tests für Atmungsaktivität bestätigt.

5. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die gefundenen Ergebnisse liefern wichtige Bausteine für die Identifikation individueller Strahlenempfindlichkeit. Das Vorhaben ist nach vier Jahren Laufzeit formal abgeschlossen, wird aber inhaltlich weitergeführt, wobei hierfür die Verantwortung an das HMGU übergeht. Insbesondere die im Folgenden genannten Punkte sind für die weiteren Arbeiten von Bedeutung:

5.1 EXPERIMENTELLE STRAHLENTHERAPIE

Es wurden Studien begonnen, in denen miRNAs analysiert werden, die in Gewebeproben von Brusttumoren über- oder unterrepräsentiert sind. Die Proben stammen von Patientinnen, die auf die Strahlentherapie entweder gut (Überleben von mehr als 5 Jahren) oder schlecht (Überleben von weniger als 2 Jahren) reagiert haben. Als Kontrollen werden Proben von Patientinnen analysiert, die auf Chemotherapie positiv oder nicht reagiert haben.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Strahlentherapie der TUM wurde eine In-vivo-Versuchsreihe begonnen, um herauszufinden, ob der unter 4.1.4 beschriebene Assay so sensitiv ist, dass er DNA-Schäden von Patienten detektiert, die in der Therapie eine Standarddosis von 2 Gy erhalten.

5.2 INDIVIDUELLE SUSZEPTIBILITÄT UND KREBSRISIKO NACH STRAHLENEXPOSITION

Auf Grund der Ergebnisse zur genetisch bedingten Empfindlichkeit für strahleninduzierten Schilddrüsenkrebs (s. 4.2.3) wurde ein umfangreicher Test begonnen, um herauszufinden, ob JF1 und FVB zur Paarung geeignete Inzucht-Stämme sind, und um Suszeptibilitätsgene für Schilddrüsenkrebs zu kartieren. Bisher wurden 200 Tiere des gewünschten F2 Rückkreuzungsphänotyps gezüchtet und bestrahlt. Der Status des Schilddrüsengewebes wird 2012 bekannt sein, wenn Genotyp und Phänotyp verglichen werden, um herauszustellen, ob es eine Kopplung mit der Tumorbildung gibt.

5.3 KARDIOVASKULÄRER STRAHLENSCHADEN NACH EXPOSITION MIT NIEDRIGEN DOSEN

Die unter 3.2 beschriebenen Arbeiten werden fortgesetzt. Dies erfolgt derzeit an einer menschlichen Ea.hy926 Endothelial-Zelllinie, die zu über 95% mit mit C13 und N15 enthaltenden Aminosäuren markiert wurde. In-vitro-Bestrahlung hat zu zeit- und dosisabhängigen Änderungen in der Expression der leichten und schweren Proteine geführt. Die Ingenuity Software wurde gekauft, um die molekulare Signatur dieser Änderungen im Proteingehalt zu bestimmen und um Signal- und Reaktionswege zu kartieren, die durch eine Strahlenexposition in einem Bereich zwischen 10 und 500 mGy aktiviert werden.

Thema Molekulare Signaturen von kombinierten Schadstoffwirkungen bei Lungenkrebs			
Subject <i>Molecular signatures of compound carcinogens in lung cancer</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3607S04528	Beginn 04.09.2007	Ende 31.12.2009	Fördermittel EUR 209.629,-
Forschungs- / Auftragnehmer Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA), Institut für Pathologie der Ruhr-Universität Bochum am Berufs- genossenschaftlichen Universitätsklinikum Bergmannsheil			
Projektleitung Dr. G. Johnen, Dr. B. Pesch, Prof. Dr. A. Tannapfel	Fachbetreuung BfS Dr. J. Danescu-Mayer / AG-SG 1.3	verantwortlich für den Text Dr. G. Johnen, Dr. B. Pesch, Prof. Dr. T. Brüning, Dr. I. Stricker, Prof. Dr. A. Tannapfel	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens war die Untersuchung molekularer Signaturen von Strahlung und Arsen im Tumorgewebe von 160 Lungenkrebsfällen aus dem Wismut-Sektionsarchiv. Dazu sollte die Expression von etwa 30 gezielt ausgewählten Kandidatenproteinen untersucht werden, die die Entstehung von Lungenkrebs bezüglich der verschiedenen Zelltypen und möglichen Wirkungsmechanismen von Strahlung und Arsen bei der (Syn-)Kanzergenese in der Lunge charakterisieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

Für dieses Projekt wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt

- Ziehung, Befundung und Dokumentation der Lungenkrebsproben aus dem Sektionsarchiv,
- Bereitstellung von Schnitten aus den Tumorblöcken für die immunhistochemische Untersuchung und die Methylierungsanalysen,
- Aufbau der Datenbank für die Ergebnisse (Coding Manual),
- Entwicklung der Auswertemodule (SAS Macros),
- Durchführung der immunhistochemischen Untersuchungen,
- Prüfung der Geeignetheit der Proben für Methylierungsanalysen,
- Statistische Auswertung der Expressionsmuster.

3. METHODIK

Alle eingesetzten Verfahren wurden im Studienprotokoll mit Standard Operation Protocols (SOPs) beschrieben. Das Studienprotokoll liegt dem Auftraggeber vor (vgl. Programmreport 2007).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ZIEHUNG, BEFUNDUNG UND DOKUMENTATION DER LUNGENKREBSPROBEN AUS DEM SEKTIONSARCHIV

Aus dem Kollektiv des Sektionsarchivs wurden entsprechend der Stratifizierung nach histologischem Subtyp und hoher oder niedriger Exposition gegenüber Radon und Arsen insgesamt 147 Personen ausgewählt, für die geeignetes biologisches Material verfügbar war. Nicht geeignete Proben wurden wiederholt durch erneute Ziehung von Proben ersetzt. Tabelle 1 zeigt die Verteilung der Probanden in diesen Strata.

Tabelle 1:

Studiengruppen für eine stratifizierte Analyse von Kandidatenproteinen nach Zelltyp und Exposition gegenüber Radon (Rn) und Arsen (As)

Exposition	Kontrolle	SCLC(small cell lung cancer)	AdCa (adenocarcinoma)	SqCC (squamous cell carcinoma)	Anzahl Proben insgesamt
Rn hoch As hoch	10	10	10	10	40
Rn hoch As niedrig	10	10	10	7	37
Rn niedrig As hoch	10	9	7	7	33
Rn niedrig As niedrig	10	10	8	9	37
Anzahl Proben insgesamt	40	39	35	33	147

Folgende Schwellen wurden vor der Auswahl der Proben festgelegt:

- Rn hoch > 1.000 WLM (working level month), niedrig < 100 WLM,
- As hoch > 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{Jahre}$, niedrig < 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{Jahre}$.

Es waren jedoch beispielsweise keine Lungenkrebsfälle mit einer Radon-Belastung von weniger als 100 WLM und zugleich einer Arsen-Belastung von mehr als 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{Jahre}$ vorhanden. Darüber hinaus war die Gruppe mit hoher Radon- und hoher Arsen-Belastung sehr schwach besetzt. Entsprechend wurden die Schwellen wie folgt modifiziert:

- Rn hoch > 1.000 WLM, niedrig < 500 WLM,
- As hoch > 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{Jahre}$, niedrig < 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{Jahre}$.

4.2 BEREITSTELLUNG VON SCHNITTEN AUS DEN TUMORBLÖCKEN FÜR DIE IMMUNHISTOCHEMISCHE UNTERSUCHUNG UND DIE METHYLIERUNGSANALYSEN

Je Tumorblock wurden etwa 35 Schnitte für die Färbungen und 5 weitere Schnitte für die Methylierungsanalysen bereitgestellt. Insgesamt wurden mehr als 5.000 Schnitte erzeugt und dokumentiert.

4.3 AUFBAU DER DATENBANK FÜR DIE ERGEBNISSE (CODING MANUAL) UND ENTWICKLUNG DER AUSWERTEMODULE (SAS MACROS)

Die Struktur der Datenbank wurde mit einem Coding Manual beschrieben. Für jede immunhistochemische Analyse eines Antikörpers werden die Färbungen membranständig, im Zytoplasma und im Kern angegeben. Die deskriptive Analyse dieser Daten erfolgt stratifiziert nach den Faktoren Exposition, Tumortyp und Silikose.

4.4 DURCHFÜHRUNG DER IMMUNHISTOCHEMISCHEN UNTERSUCHUNGEN

Ziel war eine Charakterisierung von Protein-Signaturen, die auf den Tumortyp und sein Ausgangsgewebe (z. B. gewebespezifische Stamm- oder Progenitorzellen) sowie die Art der Exposition (Strahlung und Arsen) schließen lassen. Hier wurde das in der Literatur vorhandene Wissen über potenzielle Marker - in Kombination mit aktuellen Krebsmodellen - genutzt. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der Kandidatenproteine für diese Untersuchung.

Die Sichtung und Auswertung der Präparate erfolgte lichtmikroskopisch, zur Bilddokumentation wurde mit digitaler Unterstützung gearbeitet. Auf Grund der begrenzten Materialeigenschaften (paraffin-eingebettete Archivproben mit langwährender Formalinfixierung) konnten keine array-basierten Analysen des Proteoms wie mit Frischmaterial durchgeführt werden. Da die Paraffinblöckchen auf Grund unterschiedlicher Archivierung und divergierender Größe z. T. nicht stanzfähig waren, musste auf das aufwändigere Ganzschnittverfahren zurückgegriffen werden. Immunhistochemische Färbungen zur Targetvalidierung wurden qualitätsgesichert nach akzeptierten Standardverfahren durchgeführt. Dabei erfolgte der halbautomatisierte Einsatz der LSAB (Labeled-Streptavidin-Biotin)-Methode nach folgendem Kurzprotokoll (Chemikalien, Puffer und Materialien von DAKO, Hamburg):

1. Aufziehen von 1-2 µm dicken Schnittpräparaten auf beschichtete Objektträger. Trocknung der Präparate über Nacht bei 58 °C im Wärmeschrank.
2. Entparaffinierung der Präparate in Xylol und Rehydrierung in absteigender Alkoholreihe (100%, 96%, 70%); Spülung in Tris-Puffer (pH 7,6). Ggf. Vorbehandlung durch Hitzebehandlung in der Mikrowelle oder im Dampfdrucktopf (Dauer der Behandlung und Wattzahl der Mikrowelle je nach Antikörper variabel, Citrat-Puffer, pH 6,1 oder EDTA (Ethylendiamintetraessigsäure), pH 8,0-9,5).
3. Blocken der endogenen Peroxidase und unspezifischer Bindungsstellen bzw. unspezifischer Bindung des Sekundärantikörpers (3% H₂O₂, 2% BSA (Bovines Serumalbumin), 2% horse serum) für 10 bis 30 min bei Raumtemperatur.
4. Inkubation der Präparate mit dem primären Antikörper bzw. Antiserum für 30 min bis 12 h (über Nacht) bei Raumtemperatur in der jeweiligen, vorher für jeden Antikörper separat definierten Verdünnung. Spülung in Puffer.
5. Inkubation für 15 min. bei Raumtemperatur mit einem biotinylierten Antikörper; Spülung in Puffer.
6. Inkubation für 15 min. bei Raumtemperatur mit einem Streptavidin-alkalische Phosphatase Komplex; Spülung mit Puffer.
7. Inkubation für 8 bis 10 min. bei Raumtemperatur mit dem chromogenen Substrat DAB (3,3'-Diaminobenzidin) bzw. Neofuchsin.
8. Gegenfärbung in Mayers Hämatoxylin für 1 min.; Bläuung in Aqua dest.
9. Dehydrierung in aufsteigender Alkoholreihe (70%, 96%, 100%), anschließend Xylol und Eindecken mit Eukitt.

In Abhängigkeit vom verwendeten Antikörper wurde das Protokoll angepasst.

Eine Extraktion von Proteinen aus dem unterschiedlich fixierten Gewebe konnte in einigen wenigen Fällen erreicht werden. Allerdings war die Proteinkonzentration des Lysats so gering, dass keine standardisierten auf die Analysen adaptierbaren Proteinmengen zur Verfügung standen. Daher wurde auf das Verfahren der In-situ-Detektion zurückgegriffen.

Nach Etablierung einer Färbung und anschließender Markierung erfolgte die Auswertung der Schnittserien pro Antikörper. Dokumentiert wurde die Färbintensität in unterschiedlichen Qualitäten (positiv: +, ++, +++; negativ: -). Dabei erfolgte sowohl eine Auswertung der nukleären Färbung als auch der zytoplasmatischen und membrangebundenen Färbung für jeden Antikörper getrennt.

Tabelle 2:
Etablierung von Kandidatenproteinen

Symbol	Name	Verdünnung	Färbung	Antikörper
CCND1	Cyclin D1	1:50	erfolgreich	monoklonal
CD44	CD 44	1:100	erfolgreich	monoklonal
CDH1	Cadherin 1, type 1, E-cadherin (epithelial)	1:100	erfolgreich	monoklonal
KIT	V-kit Hardy-Zuckerman 4 feline sarcoma viral oncogene homolog	1:200	erfolgreich	polyklonal
PTGS2 (COX2)	prostaglandin-endoperoxide synthase 2	1:50	erfolgreich	monoklonal
CTNNB1	Catenin (cadherin-associated protein), beta 1, 88kDa	1:300	erfolgreich	polyklonal
EGFR	Epidermal growth factor receptor (erythroblastic leukemia viral (v-erb-b) oncogene homolog, avian)	1:50	erfolgreich	monoklonal
ERBB2	V-erb-b2 erythroblastic leukemia viral oncogene homolog 2, neuro/glioblastoma derived oncogene homolog (avian)	1:600	erfolgreich	polyklonal
HIF1A	Hypoxia-inducible factor 1, alpha subunit (basic helix-loop-helix transcription factor)	1:50	erfolgreich	monoklonal
KRT5	Keratin 5	1:200	erfolgreich	monoklonal
KRT14	Keratin 14	1:50	erfolgreich	monoklonal

Symbol	Name	Verdünnung	Färbung	Antikörper
MMP2	Matrix metalloproteinase 2 (gelatinase A, 72kDa gelatinase, 72kDa type IV collagenase)	1:50	erfolgreich	monoklonal
MUC 1	Mucin 1, cell surface associated	1:50	erfolgreich	monoklonal
NKX2-1 (TTF1, TITF1)	NK2 homeobox 1	1:50	erfolgreich	monoklonal
NOTCH1	Neurogenic locus notch homolog protein 1; notch1; translocation-associated notch protein TAN-1	1:1000	erfolgreich	polyklonal
TP53	Tumor protein p53 (Li-Fraumeni syndrome)	1:20	erfolgreich	monoklonal
PAK1	P21/Cdc42/Rac1-activated kinase 1	1:50	erfolgreich	monoklonal
SNAI1	Snail homolog 1	1:75	erfolgreich	polyklonal
SFTPC	Surfactant, pulmonary-associated protein C	1:200	erfolgreich	polyklonal
STAT3	Signal transducer and activator of transcription 3 (acute-phase response factor)	1:500	erfolgreich	polyklonal
VEGFA	Vascular endothelial growth factor A	1:20	erfolgreich	monoklonal
VIM	Vimentin	1:12000	erfolgreich	monoklonal

4.5 METHYLIERUNGSANALYSEN

Vorversuche hatten ergeben, dass neben Analysen auf Proteinebene auch Untersuchungen auf der DNA (Desoxyribonucleinsäure)-Ebene mit den Gewebeproben des Wismut-Archivs (wenn auch eingeschränkt) möglich sind. Dabei konnten mittels PCR (polymerase chain reaction) DNA-Fragmente von bis zu 500 Basenpaaren amplifiziert werden. Eine anschließende Sequenzierung gelang mit verschiedenen Exons der Gene TP53 und KRAS. Weiterhin gelang bisher die Methylierungsanalyse von CpG (Cytosin-phosphatidyl-Guanin)-Inseln im Promotorbereich des MGMT-Gens bei einzelnen Proben.

Es sollten daher zunächst fünf Methylierungsassays parallel zu den immunhistochemischen Untersuchungen mit den 160 ausgewählten Proben durchgeführt werden, um die generelle Durchführbarkeit von epigenetischen Analysen mit dem Archivmaterial weiter zu prüfen. Es war zunächst geplant, die Promotorbereiche der Gene RASSF1A, CDKN2A (p16), VHL und MGMT sowie der LINE-1 Retrotransposons zu analysieren. Intensive Vorversuche ergaben dann aber, dass die Gene RASSF1A und CDKN2A im für die Studie selektierten Material nicht bestimmbar waren. Stattdessen wurden die relevanten Gene CDH1 und ATM ausgewählt.

Die allgemeine Vorgehensweise bei den Analysen ist im Folgenden kurz beschrieben:

Die DNA wurde aus den Gewebeschnitten, nach Entparaffinierung mittels Xylol / Ethanol-Behandlung, mit einem QIAamp Kit (Qiagen) isoliert. Anschließend erfolgte eine Bisulfitmodifizierung von jeweils ca. 2 µg DNA mittels des EpiTect Bisulfite Kits der Fa. Eppendorf. Je 0,5 bis 2 µl (abhängig von Vorversuchen zur Ermittlung der optimalen PCR-Bedingungen für jeden einzelnen DNA-Abschnitt) der resultierenden DNA-Lösung wurden für die PCR mit genspezifischen Primern eingesetzt. Für die mittels Pyrosequencing zu untersuchenden DNA-Abschnitte war jeweils einer der Primer für die spätere Einzelstranggewinnung endständig biotinyliert. Das Primer-Design wurde unter Einsatz der speziellen Assay Design Software 1.0 der Fa. Biotage durchgeführt. Im Fall von MGMT und LINE-1 stehen fertige kommerzielle Assays zur Verfügung. Die PCR-Bedingungen unterschieden sich jeweils bezüglich der Annealing-Temperatur, der Magnesiumchloridkonzentration im Puffer und der eingesetzten Taq-Polymerase. Hier kamen sowohl das Gene Amp Fast Master System (Applied Biosystems, ABI) als auch das HotMaster Taq System (Eppendorf) zum Einsatz. Die Zykluszahl der PCR-Ansätze betrug 45-50, um sämtliche Primer komplett zu verbrauchen, da insbesondere freie biotinylierte Primer bei der Aufreinigung der Proben mitgeführt werden und die späteren Ergebnisse beeinträchtigen können. Nach Erfolgskontrolle durch Agarosegelelektrophorese eines Aliquots erfolgte die weitere Aufreinigung, Denaturierung und Einzelstranggewinnung der PCR-Amplifikate mit Hilfe einer Sample-Prep Workstation (Biotage) nach Angaben des Herstellers. Die eigentliche Methylierungsanalyse wurde unter Einsatz der PyroMark Gold Reagenzien auf einem Pyrosequencer PSQ 96MA (Biotage) durchgeführt, wobei es möglich war, den Methylierungsstatus jedes einzelnen CpGs zu ermitteln. Die Assays waren so entworfen, dass zwischen 5 und 15 CpGs in den entsprechenden Promotorbereichen der genannten Gene untersucht werden konnten.

Die Analyse von LINE-1 diente dabei zur Ermittlung des Gesamtmethylierungsstatus einer entsprechenden Probe.

Weiterhin wurde für die Gene ATM und VHL ein verbesserter MSP-Assay entwickelt. Bei der methylierungsspezifischen PCR (MSP) wurden für jeden Assay zwei Primerpaare eingesetzt. Ein Primerpaar wurde so designed, dass es nur an Bisulfit-modifizierte (s. o.), nicht methylierte DNA des zu analysierenden Abschnitts binden konnte, das zweite Primerpaar konnte nur an methylierte DNA des entsprechenden DNA-Bereichs binden. Die Ergebniskontrolle erfolgte normalerweise mittels Agarosegelelektrophorese. Im Gel wurde nur bei erfolgreicher Amplifikation mit dem jeweiligen Primerpaar eine Bande sichtbar. Diese klassische MSP ermöglicht kaum eine Quantifizierung des Methylierungsgrades für die jeweiligen Assays, wenn beide Primerpaare eine Amplifikation ergeben. Daher wurde in diesen Fällen zur verbesserten Quantifizierung der Ergebnisse von klassischen MSP-Assays anstelle einer semiquantitativen Interpretation von Agarosegelen ein Lab-on-a-chip-basiertes Bioanalyzer-System verwendet. Dieses erlaubt eine weitaus bessere Trennung von Banden als herkömmliche Agarose-Gele, eine direkte Registrierung und Digitalisierung von Signalintensitäten und somit eine präzisere Integration der Signale von methylierter und unmethylierter DNA.

4.6 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Zwischen allen informativen Markern (mit erfolgreichen Färbungen) wurden Rangkorrelationen berechnet. Weiterhin wurde für Membran, Zytoplasma und Zellkern dargestellt, welcher Anteil an Schnitten nach Subtypen eine Färbung gezeigt hat. Es erfolgte weiterhin die Beurteilung der immunhistochemischen Färbung in vier Intensitätsstufen: keine Färbung (-), schwache Färbung (+), mittlere Färbung (++) und starke Färbung (+++). Für jeden Schnitt wird in Prozent der Zellen angegeben, wie sich die Farbtintensitäten auf die Zellen verteilen. Insgesamt addieren sich pro Schnitt die Prozentzahlen der vier Intensitäten zu 100 Prozent. Für alle Kandidatenproteine erfolgte eine Deskription der Färbung mit einem SAS Macro nach Zellbestandteil (Membran, Zytoplasma und Kern) sowie stratifiziert nach ausgewählten Faktoren (Zelltyp, Silikose und Exposition). Die immunhistochemischen Ergebnisse wurden zu Scores zusammengefasst, die die Anwendung von Klassifikationsverfahren vereinfachen. Hierbei wurden den Farbtintensitäten die Werte 0 (-), 1 (+), 2 (++) und 3 (+++) zugeordnet.

Der Score berechnet sich wie folgt:

- 0 * Zellanteil in Prozent ohne Färbung
- + 1 * Zellanteil mit schwacher Färbung
- + 2 * Zellanteil mit mittelstarker Färbung
- + 3 * Zellanteil mit starker Färbung.

Die Werte des Scores liegen somit zwischen 0 und 300. Dieser Score wurde zur Klassifikation nach Exposition, Tumorsubtyp und Silikose verwendet.

Zur statistischen Analyse der Diskriminierungseigenschaften der Proteine wurden zuerst deren immunhistochemischen Daten der Marker einzeln ausgewertet. Anhand von hierarchischen Clusterverfahren wurden mögliche Cluster in der Studienpopulation untersucht. Zunächst wurde mit Hilfe der statistischen Software SAS für jedes Protein eine Clusteranalyse mit dem Abstandsmaß der Euklidischen Distanz und der Average Linkage-Metrik durchgeführt. Die graphische Darstellung erfolgte mittels Dendrogrammen.

Zur Gesamtbetrachtung aller Proteine kamen hierarchische Clusterverfahren zur Anwendung. Zunächst wurde analog zur Einzelbetrachtung mittels SAS und den genannten Einstellungen (Euklidische Distanz, Average Linkage) eine Clusteranalyse durchgeführt und das Ergebnis graphisch dargestellt. Zusätzlich wurde mit dem Programm TreeView eine Clusteranalyse mit Average Linkage und der Pearson'schen Korrelation als Ähnlichkeitsmaß angewendet. Neben der Anwendung des strukturentdeckenden Clusterverfahrens wurde ein Baumlerner auf den Gesamtdatensatz eingesetzt. Mittels CART (Classification and Regression Trees) können sowohl Klassifikations- als auch Regressions-Probleme gelöst werden. Die CART-Berechnung erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms R2.10 und dem Paket „rpart“.

5. ERGEBNISSE

Für die statistische Auswertung lagen immunhistochemische Daten für die Färbung von Zellmembran, Zytoplasma oder Zellkern von 22 Proteinen vor.

5.1 HISTOLOGISCHE SUBTYPEN

Insgesamt zeigte sich, dass die Färbungen der Proteine HIF1A im Zytoplasma und NKX2-1 im Kern ausreichen, um die Tumorgewebeproben als AdCa, SqCC und SCLC mit einer geringen mittleren Fehlklassifikationsrate von 14,17% zu klassifizieren. Die Fehlklassifikationsrate wurde mittels CART bestimmt (fünffache Kreuzvalidierung mit 100 Durchläufen). Die gute Trennung der Subtypen ist auch mit anderen Klassifikationsverfahren zu erkennen. SCLC kann von Non-SCLC sehr gut diskriminiert werden. SqCC und AdCa sind leicht überlappend. AdCa bilden Subgruppen mit verschiedenen Signaturen.

5.2 HÖHE DER EXPOSITION GEGENÜBER RADON UND ARSEN

Eine Diskriminierung der molekularen Signaturen nach Höhe der Radon- und Arsen-Exposition ist nicht erkennbar. CART ergibt eine mittlere Fehlklassifikationsrate von 65,82% (fünffach Kreuzvalidierung mit 100 Durchläufen). Die am besten diskriminierenden Proteine sind CDH1 im Zytoplasma, CCDN1 im Zytoplasma, PAK1 im Zellkern, MUC1 im Zytoplasma, SNAI1 im Zellkern, CTNNB1 in der Zellmembran und VEGFA im Zytoplasma.

5.3 SILIKOSE

Alle angewandten Klassifikationsprogramme lassen keine Abgrenzung im Tumorgewebe zwischen Silikotikern und Nicht-Silikotikern erkennen. Die Analyse mittels CART ergibt eine mittlere Fehlklassifikationsrate von 49,18% (fünffach Kreuzvalidierung mit 100 Durchläufen). Die durch CART am besten diskriminierenden Proteine sind PAK1 im Zytoplasma, MUC1 im Zytoplasma, CDH1 in der Zellmembran, PTGS2 im Zytoplasma und TP53 im Zellkern.

Eine detaillierte Beschreibung der Ergebnisse der einzelnen Proteinfärbungen sowie der DNA-Methylierung findet sich im ausführlichen Endbericht.

Die Studie konnte die Geeignetheit der Archivproben für immunhistochemische Expressionsanalysen von zahlreichen Proteinen in dem speziellen Untersuchungsgut des Wismut-Sektionsarchivs demonstrieren. Im Rahmen der 22 auswertbaren Färbungen war es möglich, eine sehr gute Zuordnung von Tumorsubtypen bereits mit zwei Markern, dem im Zytoplasma färbenden HIF1A und Kernfärbungen von NKX2-1, zu erreichen. Diese Markerfärbungen deuten auf den aberranten Ablauf von „Standardprogrammen“ der Lungenentwicklung im Krebsgewebe hin und stehen in einem engen Zusammenhang mit der Lungenphysiologie. Schadstoffspezifische Muster konnten jedoch nicht entdeckt werden. Vielmehr erscheint der entscheidende Faktor die Expositionshöhe und damit das Ausmaß der Schädigung zu sein, die zu Verschiebungen in den Anteilen der Subtypen führen, nicht jedoch deren molekulare Signaturen verändern. Die in Vorstudien demonstrierte Verschiebung der Subtypen hin zu SqCC und SCLC mit steigender Exposition der Uranbergarbeiter und die experimentell gefundene und in der Literatur beschriebene Aktivierung fundamentaler Regenerationsprozesse deuten auf eine mögliche expositionsabhängige Beteiligung von Stammzellen (bei hoher Exposition) und relativ differenzierten Vorläuferzellen (bei niedriger Exposition) hin. Die als Machbarkeitsstudie angeschlossene Bestimmung von möglichen Methylierungsmarkern zeigte, dass derartige Analysen grundsätzlich mit dem schwierigen Archivmaterial möglich ist, dies jedoch auch von der verwendeten Methode abhängt. Die klassische MSP-Methode hat sich dabei als robuster erwiesen als das empfindlichere und anfälliger Pyrosequencing. Allerdings konnten mit dem limitierten Datensatz keine signifikanten Korrelationen zwischen aberranten Methylierungsdaten und Expositionsdaten oder Protein-Expressionsergebnissen gefunden werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die vorliegende Studie hatte zum Ziel Expressionsmuster zu detektieren, die eine Korrelation der Exposition mit ionisierender Strahlung und / oder Arsen und der verschiedenen Lungenkrebssubtypen erlaubt.

Proteine, charakteristisch für bestimmte Lungenkrebsarten bzw. für bestimmte Krebsentstehungshypothesen, sollten immunhistochemisch detektiert und ihre Expression quantifiziert werden. Die dabei ermittelten Expressionsmuster sollten nach Korrelation mit der Expressionsart und -höhe und dem jeweiligen Lungenkrebssubtyp Signaturen liefern, die es z. B. ermöglichen, bei Bioproben Aussagen machen zu können hinsichtlich der Exposition und der Dosis, der sie ausgesetzt waren. Solche Signaturen könnten auch Hinweise darüber geben, ob und in welchem Stadium der Lungenkrebsentstehung die Zellen sich befinden um so als diagnostischer und / oder prognostischer Marker genutzt zu werden.

Zusätzlich sollte die Möglichkeit geprüft werden, charakteristische Veränderungen auf DNA Ebene zur Unterscheidung der einzelnen Expositions- und Lungenkrebsgruppen in archivierten Bioproben nachweisen und nutzen zu können.

Die Ergebnisse der immunhistochemischen Arbeiten zeigen klar die Charakterisierung der Lungenkrebssubtypen anhand der Proteinexpressionsmuster. Sie helfen bei der Erstellung von Hypothesen hinsichtlich der Entstehung von Lungenkrebs, ermöglichen aber keine Aussage darüber, auf Grund welcher Exposition und welcher Dosis der pathologische Befund entstanden ist. Dieser für den Strahlenschutz sehr wichtigen Fragestellung muss in weiteren Studien nachgegangen werden.

Ebenso können die positiven Ergebnisse der Methylierungsanalysen in weiterführenden Studien verwendet werden, um die Fragen der Expositionsbestimmung in Archivmaterial zu klären und um zu klären, inwieweit DNA-Methylierungen Einfluss auf die Strahlenempfindlichkeit in der Bevölkerung haben.

Thema			
Zelluläre und molekulare Mechanismen direkter und indirekter Organschädigung durch ionisierende Strahlung			
Subject			
<i>Cellular and molecular mechanisms of direct and indirect organ damage via ionising radiation</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3607S04546	Beginn 01.11.2007	Ende 31.10.2009	Fördermittel EUR 174.836,-
Forschungs- / Auftragnehmer Universität Göttingen, Zentrum für Innere Medizin, Abt. Gastroenterologie und Endokrinologie, Göttingen			
Projektleitung Prof. G. Ramadori	Fachbetreuung BfS E. Müller-Laue / AG-SG 1.1		verantwortlich für den Text G. Martius

1. ZIELSETZUNG

Das Projekt hatte zum Ziel, die Hypothese zu überprüfen, ob es nach selektiver Bestrahlung von gesundem Lungengewebe lokal zu einer strahleninduziert vermehrten Expression pro-inflammatorischer Zyto- und Chemokine kommt und welche pathophysiologischen Veränderungen auf histologischer Ebene stattfinden. Ebenfalls sollte untersucht werden, ob die selektive Bestrahlung eines Organs durch die Bildung von Botenstoffen Auswirkungen auf peripher gelegene Organe wie die Leber hat, deren caudaler Teil (unterer Abschnitt) nicht direkt der ionisierenden Strahlung ausgesetzt ist, und dort zu ähnlichen Veränderungen der Genexpression von Proteinen führen.

Im Folgenden würde möglicherweise dadurch der Stoffwechsel der Leber (z. B. Eisen- und Fettstoffwechsel) sowie des Weiteren die Hämatopoese im Knochenmark beeinflusst werden, wobei die Hämatopoese daneben auch durch die strahleninduzierten pro-inflammatorischen Botenstoffe aus der Lunge gestört werden könnte.

Zielsetzung des Projektes war es, Pathomechanismen der Auswirkungen einer Lungenbestrahlung besser zu verstehen und Entzündungsmarker zu identifizieren, um dadurch geeignete Schutzmaßnahmen für gesundes Gewebe bei Einwirkung ionisierender Strahlen entwickeln zu können.

2. EINZELZIELSETZUNG

Auf zellulärer und molekularbiologischer Ebene sollten die akuten und langfristigen Veränderungen in der Lunge, die durch ionisierende Strahlung induziert werden, untersucht werden. Beabsichtigt war ebenfalls die Untersuchung der indirekten Strahlenwirkung benachbarter und peripher gelegener Organe, insbesondere der Leber.

2.1 ORGANBESTRAHLUNGEN

Der erste Schritt zur Bearbeitung des Projektes war die Durchführung von selektiver Organbestrahlung der Lunge. Dieser war für das erste Jahr der Förderung vorgesehen, wobei die Lunge in vivo mit 25 Gy bestrahlt wurde und neben dem direkt bestrahlten Organ außerdem eine Vielzahl anderer Organe nach 1, 3, 6, 12, 24 und 48 Stunden entnommen wurden (siehe Tabelle 2). Organe von lediglich narkotisierten Kontrolltieren wurden ebenfalls entnommen.

2.2 HISTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Einleitend wurden Lungen- und Lebergewebe histologisch untersucht und dann auf verschiedene Antikörper für Zytokine, Chemokine und Oberflächenmarker (CD = cluster of differentiation) getestet. Beabsichtigt war die Identifizierung und Lokalisierung von Immunzellen wie neutrophile Granulozyten oder Leukozyten, die bei Entzündungsprozessen in das Gewebe infiltrieren. Beispiele von Oberflächenmarkern sind in Tabelle 1 gezeigt.

Tabelle 1:

Beispiele von zellspezifischen Oberflächenmarkerproteinen, die auf Zellen nachgewiesen werden können, die eine Rolle in Entzündungsprozessen spielen.

Zellen	Marker
Makrophagen	CD68, CD34, CD11b/c, C1q-B, CD54, CD163
Neutrophile Granulozyten	Elastase, CD11b/c
Vorläuferzellen	CD34, CD90
Endothelzellen	CD31, von-Willebrand-Faktor
Fibroblast	Kollagenase

CD68 (Cluster of differentiation 68/ED-1 = Ectodysplasin-1), CD34 (Cluster of differentiation 34), CD11b/c (Cluster of differentiation 11b/c/Integrin alphaM/alphaX), C1q-B (Complement component 1, q subcomponent, B chain), CD54 (Cluster of differentiation 54/ICAM-1 = Inter-Cellular Adhesion Molecule-1), CD163 (Cluster of differentiation 163/ED-2 = Ectodysplasin-2), CD90 (Cluster of differentiation 90/Thy-1 = Thymocyte differentiation antigen-1), CD31 (Cluster of differentiation 31/PECAM-1 = Platelet endothelial cell adhesion molecule-1)

2.3 SEROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Durch Untersuchungen des Serums sollte festgestellt werden, ob die selektive Bestrahlung der Lunge zur Erhöhung oder Senkung von Serumspiegeln verschiedener Zytokine, Chemokine oder Eisen führt und damit möglicherweise eine selektive Lungenbestrahlung über Botenstoffe auch andere Organe, die nicht direkt im Bestrahlungsfeld liegen, beeinflussen kann.

2.4 UNTERSUCHUNGEN DER GENEXPRESSION

Die quantitative Messung von Genexpressionen relevanter Proteine wurde mittels Real Time PCR (Polymerase Chain Reaction) ausgeführt. Im Falle einer Detektion von gesteigerter und reduzierter Genexpression könnte dies auf einen strahleninduzierten Entzündungsprozess zurückzuführen sein. Beispiele getesteter Primer sind in den Tabellen 2 und 3 aufgezählt.

Tabelle 2:

Zellspezifische Chemokine und Interleukine

Zellen	Chemokine	Interleukine
Makrophagen	MIP-1alpha, MIP-2alpha, CXCL-1, Cinc-1	IL-4, IL-6, IL-10, IL-12
Neutrophile Granulozyten	CXCL-1	
Vorläuferzellen	MCP-1, IP-10	IL-10
Endothelzellen	IP-10, Cinc-1	IL-6
Fibroblast	IP-10	

MIP-1alpha (Macrophage Inflammatory Protein-1alpha), MIP-2alpha (Macrophage Inflammatory Protein-2alpha), CXCL-1 (Chemokine CXC motif ligand 1/KC = keratinocyte-derived chemokine), Cinc-1 (Cytokine-induced neutrophil attractant-1/CXCL8 = chemokine CXC motif ligand 8), MCP-1 (Monocyte chemoattractant protein-1/CCL2 = chemokine CC motif ligand 2), IP-10 (Interferon-gamma-induced protein/CXCL10 = chemokine CXC motif ligand 10), IL-4 (Interleukin-4), IL-6 (Interleukin-6), IL-10 (Interleukin-10), IL-12 (Interleukin-12)

Tabelle 3:

Proteine des Eisen- und Fettstoffwechsels der Leber

Eisenstoffwechsel	Fettstoffwechsel
Hepcidin	Sterol regulatory-element binding protein-1c (SREBP-1c)
Hämojuvelin	Acetyl-CoA Carboxylase-2 (ACC-2)
Transferrinrezeptor-2	Carnitin-Palmitoyltransferase-1alpha (CPT-1alpha)
Transferrin	Malonyl-CoA Decarboxylase (MCOAD)
Ferroportin	
Ferritin-H	

2.5 MOLEKULARBIOLOGISCHE ANALYSEN

Semiquantitative Analysen von Expressionen bestimmter Proteine in bestrahlter Lunge und in der Leber wurden durch Western Blots (Proteinimmunblot) mit spezifischen Antikörpern durchgeführt. Zytokinspiegel im Serum wurden durch die Ausführung von ELISAs (enzyme-linked immunosorbent assay; enzymgekoppelter Immunadsorptionstest) bestimmt und demonstrieren eine systemische Inflammation durch die Bestrahlung der Lunge.

3. METHODIK

Folgende im Projekt angewendete Methoden sind in den Laboren des Forschungsnehmers etabliert und wurden durchgeführt: Immunhistochemische Färbungen von Gewebedünnschnitten, Isolierung von RNA und Proteinen, Synthese von cDNA, Western Blot, quantitative Real Time PCR (polymerase chain reaction, Polymerase Kettenreaktion), ELISA (enzyme-linked immunosorbent assay, Enzymgekoppelter Immunadsorptionstest).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ORGANBESTRAHLUNGEN

Nach Bewilligung eines Tierversuchsantrages wurden die selektiven Bestrahlung der Lungen CT-gestützt mit einem medizinischen Linearbeschleuniger (Varian Clinac 600 C; Varian, Palo Alto, CA), durchgeführt. Als Versuchstiere wurde die Wistar Ratte gewählt. Es wurde für jedes Tier eine Planungs-CT durchgeführt und die obere und untere Feldgrenze individuell nach CT auf der Haut des Tieres markiert. Anschließend wurde jeweils eine Dosisverteilung errechnet. Es wurde insgesamt eine Einzeldosis von 25 Gy in einer ap / pa-Technik (ap= anterior/posterior) eingestrahlt (Dosisleistung von 2,4 Gy/min). Zur Vermeidung von Bewegungsartefakten wurden die Tiere für die Computertomographie sowie für die Bestrahlung narkotisiert (90 mg/kg Ketamin, 7,5 mg/kg Xylazin).

Anschließend wurden die Tiere in einen Käfig mit ausreichend Wasser und Futter gesetzt. Nach verschiedenen Zeitpunkten (1, 3, 6, 12, 24 und 48 Stunden) wurden verschiedene Organe und Vollblut entnommen (siehe Tabelle 4). Aus Vollblut wurde anschließend Serum gewonnen. Teile der Organe wurden in flüssigem Stickstoff gefroren und bei -80°C gelagert, andere Teile wurden in Formalin fixiert und anschließend in Paraffin eingebettet.

Tabelle 4:
Tabellarische Darstellung des Versuchsplans

4 Tiere pro Zeitpunkt bestrahlt	selektive Bestrahlung der Lunge mit 25 Gy
4 Tiere pro Zeitpunkt als Kontrolle	Kontrollen unbestrahlt (nur Narkose)
	zusätzlich 2 RT-Zeit-Tiere pro Zeitpunkt: = 0 h + 20 min
	(RT = radiation treatment)
Zeitpunkte der Organentnahme bei bestrahlten Tieren: 1, 3, 6, 12, 24, 48 Stunden	
Zeitpunkte der Organentnahme bei Kontrolltieren: 0 (20 min.), 1, 3, 6, 12, 24, 48 Stunden	
Entnommene Organe:	10. Pankreas
1. Leber oben	11. Ösophagus
2. Leber unten	12. Fundus
3. Lunge	13. Corpus
4. Herz	14. Duodenum
5. Milz	15. proximaler Dünndarm
6. Niere links	16. distaler Dünndarm
7. Niere rechts	17. Colon oben
8. Nebenniere links	18. Colon unten
9. Nebenniere rechts	19. Knochenmark

4.2 SERUMANALYSEN

Ein erster Hinweis auf einen Entzündungsprozess können spezielle Serumanalysen bieten. Zum Beispiel sind Erhöhungen der Enzyme Aspartat-Aminotransferase, Alanin-Aminotransferase und Alkalische Phosphatase und ein niedriger Eisenspiegel im Serum oft ein Hinweis darauf, dass eine Entzündung der Leber vorliegt. Die Messungen wurden durch die klinische Chemie routinemäßig ausgeführt.

Pro- und anti-inflammatorische Zytokine wie Interleukin-6 können im Serum durch ELISA (enzyme-linked immunosorbent assay = Enzymgekoppelter Immunadsorptionstest) nachgewiesen werden. Der Proteinnachweis beruht auf einer enzymatischen Farbreaktion und wurde mit Hilfe kommerziell erwerblicher Kits durchgeführt.

4.3 HISTOLOGIE UND IMMUNHISTOCHEMIE

Aus gefrorenem Lungen- und Lebergewebe (Kontrollen und bestrahlte Organe) wurden 5 µm dicke Schnitte angefertigt, die anschließend mit Methanol/Aceton fixiert wurden. Vom paraffineingebetteten Gewebe wurden ca. 4,5 µm dünne Schnitte angefertigt und zum Immunfärben entparaffiniert. Verschiedene Antikörper wurden auf ihre Konzentration und Reaktivität hin im Gewebe durch Immunfluoreszenz und Peroxidasefärbung getestet.

4.4 QUANTITATIVE REAL TIME PCR (POLYMERASE CHAIN REACTION = POLYMERASE KETTENREAKTION)

Neben den histologischen Untersuchungen (Proteinlevel), wurden auch Genexpressionen mittels Real Time PCR (real time polymerase chain reaction) analysiert (mRNA-Level). Hierfür wurde für jedes Gen auf der Basis der DNA-Sequenz und des Transkripts (Exons) ein Primerpaar (DNA-Oligonukleotide) mit einer Software (Perl Primer) konstruiert, die spezifisch Gene der Ratte nachweisen. Zusammen mit dem Enzym DNA-Polymerase wird so die Probe (cDNA) in Echtzeit quantifiziert.

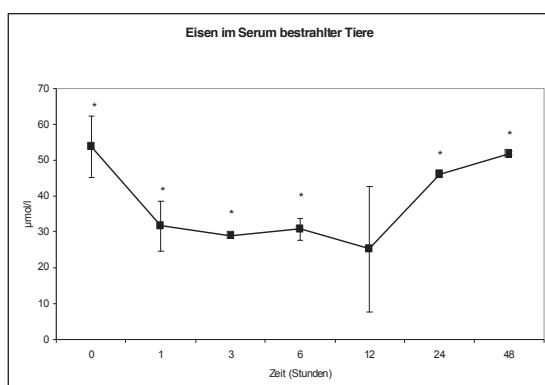
4.5 WESTERN BLOT

Die Durchführung von Western Blots erlaubt einen spezifischen Nachweis von Proteinen, meist mittels Antikörper. Hierfür wurde zunächst das Gesamtprotein der Organe isoliert und anschließend auf einem Agarosegel der Größe und Ladung nach durch ein elektrisches Feld aufgetrennt. Die Übertragung der Proteine vom Gel auf eine Membran (blotten) erfolgt ebenfalls durch ein elektrisches Feld und ermöglicht dann den Nachweis des gewünschten Proteins auf dem Trägermaterial.

5. ERGEBNISSE

5.1 SERUMANALYSEN

a)



b)

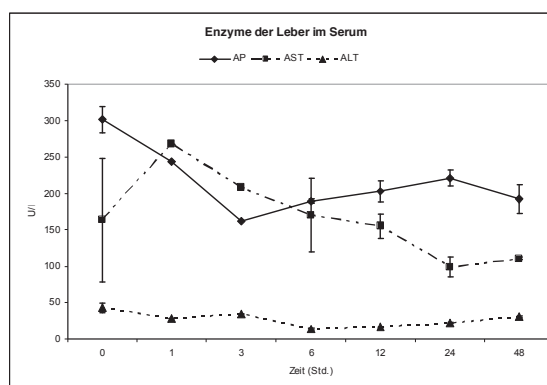


Abbildung 1:

Messungen von Eisen (a) und der Enzyme (b) Alkalische Phosphatase (AP), Aspartat-Aminotransferase (AST) und Alanin-Aminotransferase (ALT) im Serum von 2 bestrahlten Tieren. Eisen gemessen als µmol/l und Enzyme gemessen in U/L (Units per liter)

Bei den bestrahlten Tieren wie bei den Kontrollen (hier nicht gezeigt) kommt es zu einem Abfall des Eisengehaltes im Serum (siehe Abbildung 1a). Bei beiden Gruppen erholt sich der Eisenspiegel und steigt bis zum letzten gemessenen Zeitpunkt (48 h) an. Warum es gerade auch bei den Kontrolltieren zu einem Abfall der Eisenkonzentration im Serum kommt, ist nicht klar.

Der AST-Spiegel ist eine Stunde nach Bestrahlung von 164 U/l (Zeitpunkt 0) auf 268 U/l erhöht und sinkt bereits nach 3 Stunden kontinuierlich ab (siehe Abbildung 1b). Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass ionisierende Strahlung die zahlreichen und großen Mitochondrien der Hepatozyten zerstört, was durch eine schnelle Freisetzung des Enzyms gemessen werden kann.

Die Durchführung von einem ELISA für IL-6 zeigte keine signifikante Erhöhung der Zytokinserumlevel. Die Ursache hierfür ist vermutlich eine ausschließlich lokale Erhöhung der Zytokine, die sich nicht auf den Serumspiegel auswirkt.

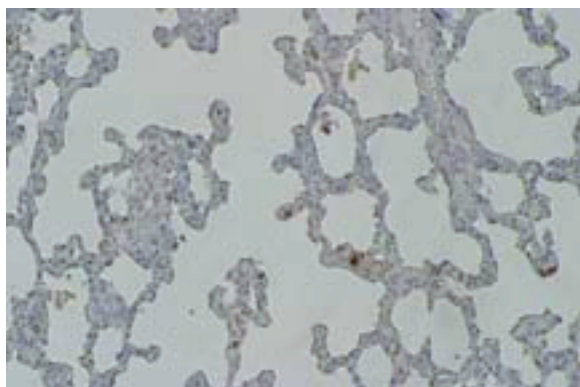
5.2 IMMUNHISTOCHEMIE

Nach notwendigen und intensiven Vorversuchen, um die optimierten Versuchsbedingungen für Gewebe und Antikörper festzustellen, wurden Gewebedünnschnitte von gefrorenem und in Paraffin eingebettetem Gewebe mit Peroxidasefärbungen und entsprechenden Antikörpern untersucht. Ebenfalls sind Immunfluoreszenzfärbungen durchgeführt worden. Angefärbt wurden bestrahlte und unbestrahlte Organe der Lunge und der Leber.

Lunge

Kommt es zu einer Infektion, wandern Monozyten genauso wie neutrophile Granulozyten in das betroffene Gewebe und differenzieren sich dort unter dem Einfluss von Zytokinen zu Makrophagen. Der Oberflächenmarker CD68 dient dem Nachweis von Monozyten und Makrophagen. Die Bestrahlung der Lunge führt zu Gewebeschäden, die anhand der zerstörten Gewebestruktur zu erkennen sind (siehe Abbildung 2). Zu einer massiven Infiltrierung von CD68-positiven Zellen kommt es jedoch nicht, was durch die Messung der Genexpression belegt werden konnte.

3h Kontrolle



3h post RT

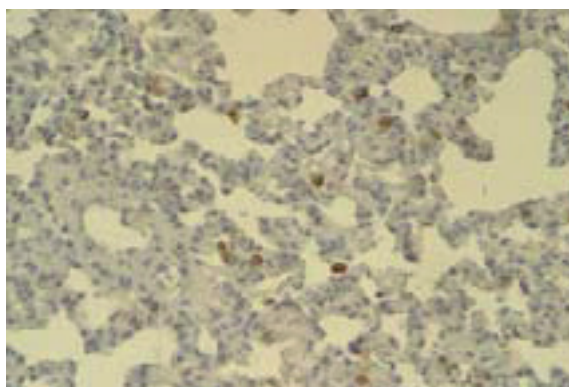


Abbildung 2:

Peroxidasefärbung der Lunge von Kontrolltieren und bestrahlten Tieren, 3 Stunden nach Narkose bzw. Bestrahlung, mit einem Antikörper rat anti-CD68; 20fache Vergrößerung; Kerne sind blau angefärbt, CD68-positive Zellen sind rot gefärbt

Leber cranial

Durch die Bestrahlung der Lunge liegt der craniale Teil der Leber am Feldrand des Bestrahlungsfeldes und ist somit ebenfalls der ionisierenden Strahlung ausgesetzt. Eine Stunde nach Bestrahlung sind die Venen des Organs kollabiert und es sammeln sich vermehrt Makrophagen in der betroffenen Region. Nach 6 Stunden jedoch sind in den bestrahlten Tieren weitaus weniger Zellen vorhanden als nach einer Stunde, was ein Hinweis darauf sein kann, dass der Entzündungsprozess bereits nach 6 Stunden abklingt. Zudem sind die Zellen kleiner, was darauf schließen lässt, dass sich im Gewebe keine aktiven Makrophagen sondern Monozyten befinden. Des Weiteren sind weniger Venen kollabiert als nach einer Stunde.

Leber caudal

Der untere Teil der Leber liegt nicht im Bestrahlungsfeld der selektiven Lungenbestrahlung. Auf histologischer Ebene sind im Vergleich zum oberen Teil der Leber keine kollabierten Venen zu finden. Jedoch liegen auch hier nach 6 Stunden weniger Makrophagen vor, als nach einer Stunde.

5.3 QUANTITATIVE REAL TIME PCR

Die Veränderungen der Genexpression können auf RNA- Ebene mit Hilfe der Real Time PCR quantitativ untersucht werden. Die resultierenden CT (Threshold Cycle, Schwellenwert- Zyklus)- Werte zeigen gesteigerte oder reduzierte Genexpressionen im Vergleich zu den Kontrolltieren.

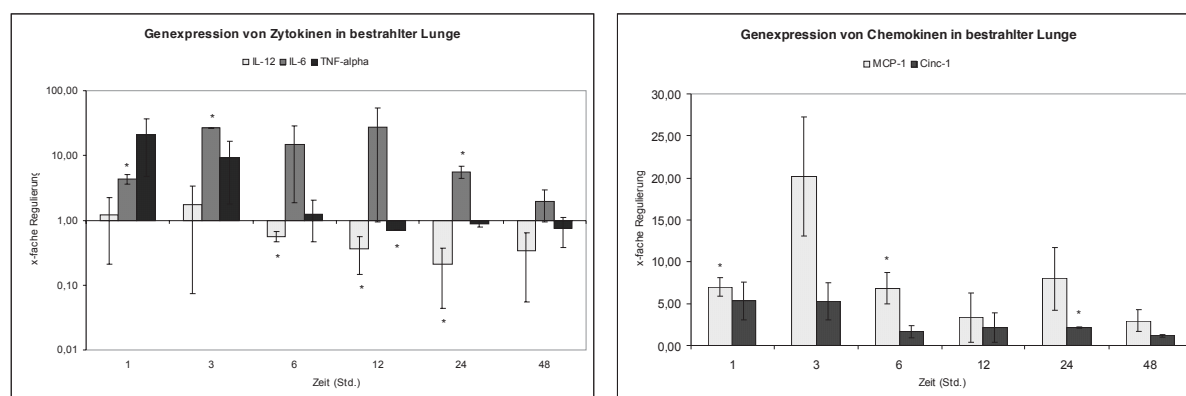


Abbildung 3:
Grafische Darstellung der relativen Genexpressionen von Zytokinen und Chemokinen in bestrahlter Lunge zu verschiedenen Zeitpunkten in 4 Tieren. Signifikanz * $p = 0,05$

Die Hochregulierung der gemessenen Chemokine sowie pro- und anti-inflammatorischer Zytokine zu den frühen Zeitpunkten zeigt eine unmittelbare Strahlenreaktion des Lungengewebes, wobei pro-inflammatorische Zytokine (IL-6, TNF-alpha) herauf- und anti-inflammatorische Zytokine (IL-12) herunterreguliert werden (siehe Abbildung 3). Die Messung der Genexpressionen von Zellmarkern zeigte allerdings kaum eine Veränderung. Jedoch wird der Marker CD11bc nach 12 Stunden um das 4fache, nach 24 Stunden um das 6fache und nach 48 Stunden um das 8,4fache hochreguliert. Diese Expression ist auf die in den Lungen bereits vorliegenden Makrophagen zurückzuführen, da keine Vermehrung von Entzündungszellen nachzuweisen war.

Die Messung der Genexpression von Chemokinen und Zellmarkern in der Leber zeigte eine Heraufregulierung weniger Proteine, wie cinc-1 und ICAM-1 in der cranialen Leber (Abbildung 4). Gene von Zytokinen wie TGF-1beta sind kaum in ihrer Expression verändert und pro-inflammatorische Zytokine wie TNF-alpha sind herunterreguliert. Dies zeigt, dass der obere Teil der Leber auf der Ebene der Genexpression durch die ionisierende Strahlung nur zum Teil beeinflusst wird. Eine Akut-Phase-Reaktion scheint jedoch auszubleiben. Die Heraufregulierung der gemessenen Genexpressionen ist vermutlich auf die gewebeansässigen Immunzellen zurückzuführen.

Die meisten der gemessenen Expressionen von Genen sind in der caudalen Leber, dem Teil des Organs, welches nicht im Bestrahlungsfeld liegt, herunterreguliert. Dies ist vermutlich ein indirekter Effekt der Bestrahlung durch die Wirkung der Produktion von Botenstoffen in der Lunge oder cranialen Leber. Wodurch die Proteine herunterreguliert werden, ist unklar und muss näher untersucht werden.

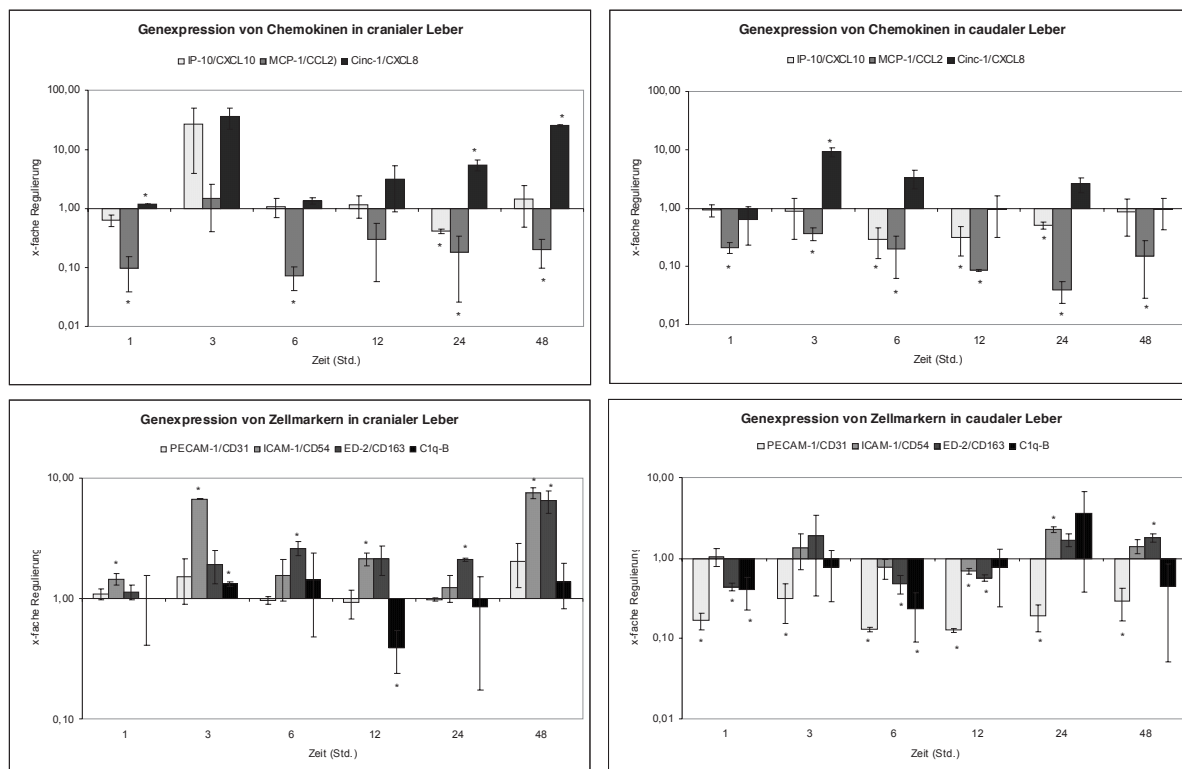


Abbildung 4:
Grafische Darstellung der relativen Genexpressionen von Chemokinen und Zellmarkern in cranialer und caudaler Leber von je 2 Tieren zu verschiedenen Zeitpunkten. Signifikanz * $p = 0,05$

5.4 WESTERN BLOT

Abbildung 5 zeigt einen Western Blot mit Gesamtprotein der Lunge und Antikörpern gegen COX-2, einem Schlüsselenzym in der Prostaglandinsynthese, welches deshalb maßgeblich am Entzündungsgeschehen beteiligt ist. Das Enzym wird bei Entzündungen durch Zytokine wie TNF-alpha (Tumornekrosefaktor-alpha) induziert und in Zellen wie Makrophagen und Endothelzellen produziert. Die von diesem Enzym vermittelten Symptome sind z. B. Fieber und Schmerzen. Die Proteinexpression von COX-2 in der bestrahlten Lunge ist nach 1 und 6 Stunden geringer als in den entsprechenden Kontrollen. Die folgenden Zeitpunkte zeigen eine gesteigerte Expression, die vermutlich durch TNF-alpha induziert wurde. Als Vergleich dient das konstitutiv exprimierte housekeeping-Gen beta-Aktin.



Abbildung 5:
Western Blot mit spezifischem Antikörper gegen COX-2 (Cyclooxygenase-2) in der Lunge. 20 μ g Gesamtprotein in jeder Probe. Molekulares Gewicht von COX-2 = ca. 70 kDa; beta-Aktin als housekeeping-Gen; Ko = unbestrahlte Kontrolltiere, irr. = bestrahlte Tiere. Proteinexpression nach 1 und 6 Stunden bei Kontrollen und bestrahlten Tieren ist hervorgehoben

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Lokale Bestrahlung eines Organs kann zu Strahlen- bzw. Entzündungsreaktionen in anderen nicht strahlen-exponierten Organen und Geweben führen. Ziel des Vorhabens war es, akute und langfristige Veränderungen der Niere und Lunge nach direkter Bestrahlung zu untersuchen, sowie dadurch hervorgerufene indirekte Veränderungen der Leber zu ermitteln, um über ein besseres Verständnis der ausgelösten Pathomechanismen in gesundem, bestrahltem und nicht bestrahltem Gewebe Schutzmaßnahmen nach Einwirkung ionisierender Strahlen entwickeln zu können.

Die Einwirkung ionisierender Strahlen auf die Lunge führte zu einer Beeinflussung der Genexpression von pro-inflammatorischen Zytokinen (entzündungsauslösende Botenstoffe), Chemokinen und Genen des Eisenstoffwechsels in der Leber. Zytokine können Reaktionen zwischen Zellen vermitteln, sowie über das Blut Reaktionen in anderen Geweben bewirken. Der craniale Teil der Leber lag noch am Rande des Bestrahlungsfeldes, was auch durch Messungen der Genexpression bestätigt wurde, so dass die Ergebnisse hier nicht eindeutig dem Bystander-Effekt zugeordnet werden können. Die Auswirkungen der lokal erhöhten Expression mancher Gene in der cranialen Leber sind bis jetzt nicht erschlossen, der Stoffwechsel der Leber könnte beeinträchtigt sein. Die Regulierung einiger Proteine wie die des Eisenstoffwechsels unterliegt individuellen Unterschieden und sollte noch näher untersucht werden. Einige Ergebnisse deuten auf einen erhöhten Eisenbedarf der Zellen hin.

Die Untersuchungen sollten weiter vertieft werden, um später, nach einer Verifizierung an Patienten, in die Risikobewertung im Strahlenschutz und in der Strahlentherapie einfließen zu können.

Themenbereich 04

Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Subject area 04

Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema Differenzierung von GOÄ- und EBM-Ziffern, die sich auf röntgendiagnostische Maßnahmen verschiedener Körperregionen beziehen („Sammelpositionen“), im ambulanten Bereich			
Subject <i>Survey to determine the frequency of X-ray diagnostic procedures based on reimbursement codes without clear allocation to certain body regions (ambulatory sector)</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3607S04496	Beginn 01.08.2007	Ende 01.10.2008	Fördermittel EUR 30.859,-
Forschungs- / Auftragnehmer Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH			
Projektleitung Dr. M. Borowski	Fachbetreuung BfS Dr. E. Nekolla / AG-SG 2.1	verantwortlich für den Text Dr. M. Borowski Dr. E. Nekolla	

1. ZIELSETZUNG

Die Patientenschutzrichtlinie 97/43/EURATOM verpflichtet die EURATOM-Mitgliedsstaaten, regelmäßig die medizinische Strahlenexposition der Bevölkerung zu erfassen. Die regelmäßige Erfassung der Strahlenexposition ermöglicht es, Trends in der Anwendung ionisierender Strahlung zu erkennen. Dieses kann wiederum als Basis für weitergehende Betrachtungen darüber genutzt werden, ob den Grundprinzipien nach Rechtfertigung und Optimierung in erforderlicher Weise nachgekommen wird.

Die Röntgenverordnung überträgt in § 28 Abs. 9 dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) die Aufgabe, regelmäßig die Strahlenexposition aus medizinischer Anwendung ionisierender Strahlung in Deutschland zu ermitteln. Die Daten werden vom BfS nach einem standardisierten Verfahren erhoben und jährlich zur kollektiven effektiven Dosis zusammengefasst, die auf die Gesamtbevölkerung bezogen ist, bzw. zur effektiven Dosis pro Kopf. Die wichtigsten Datenquellen für die Erfassung der Häufigkeit röntgendiagnostischer Maßnahmen sind die gesetzlichen Krankenversicherungen (GKV) sowie die privaten Krankenversicherungen (PKV). Diese erstatten ärztliche Aufwendungen - und damit auch die im Zusammenhang des Vorhabens interessierenden röntgendiagnostischen Tätigkeiten - auf der Basis von Leistungsziffern. Dem BfS werden mit gewissem zeitlichem Verzug die Häufigkeiten aller für die Röntgendiagnostik relevanten Leistungen, die von den GKV im Jahr erstattet wurden, zur Verfügung gestellt. Von den PKV erhält das BfS eine Stichprobe.

Ärztliche Tätigkeiten korrelieren mit Leistungsziffern der GKV (EBM-Ziffern) sowie der PKV (GOÄ-Ziffern) mit einiger Unschärfe. Bei etlichen Leistungsziffern sind Körperregion und Häufigkeit der Strahlenanwendung genau festgelegt. Bei Kenntnis der mittleren Strahlenexposition je Strahlenanwendung lässt sich für diese Leistungsziffern sehr gut der Beitrag zur Kollektivdosis berechnen. Es werden daneben jedoch auch solche Leistungsziffern (Sammelziffern) verwendet, bei denen z. B. die Körperregion wenig gut bestimmt ist, in der die Diagnostik stattgefunden hat. Für diese Leistungsziffern ist eine Berechnung des Beitrags zur Kollektivdosis teilweise nur mit großer Unsicherheit möglich.

An diesem Problem setzte das Vorhaben 3607S04496 an. Es war das Ziel des Vorhabens, bei GOÄ- bzw. EBM-Sammelziffern diejenigen Körperregionen in ihrer relativen Häufigkeit zu ermitteln, bei denen eine röntgendiagnostische Untersuchung erfolgt ist. Bei einigen Leistungsziffern ist der röntgendiagnostische Anteil der Leistung fakultativ (z. B. bei Koloskopien). Für diese Ziffern war der Anteil an Leistungen zu ermitteln, bei denen Röntgendiagnostik durchgeführt wird. Es wurden ausschließlich Leistungen der ambulanten Patientenversorgung betrachtet. Das UFOPLAN-Vorhaben St.Sch. 4326 hatte eine vergleichbare Zielstellung für den Bereich stationärer Patienten.

Die Leistungskataloge der GKV und PKV sind einer ständigen Weiterentwicklung unterworfen. Das Vorhaben bezog sich primär auf die Ziffern aus dem Abrechnungszeitraum vor dem 01. Januar 2005.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben besteht aus drei aufeinander aufbauenden Teilprojekten.

2.1 ERFASSUNG ALLER RELEVANTEN LEISTUNGSZIFFERN

Im ersten Teilprojekt sollten für die in 2004 gültigen EBM- und GOÄ-Kataloge die Leistungsziffern ermittelt werden, die im Sinne der Zielstellung des Projektes nicht eindeutig sind.

Bei den so erfassten Leistungsziffern waren diejenigen, die entweder in vernachlässigbarer Häufigkeit erbracht werden oder deren Eindeutigkeit bei Beachtung ärztlicher Leitlinien gewährleistet ist, zu ermitteln und auszuschließen.

2.2 ERSTELLUNG EINES STICHPROBENPLANS ZUR BEANTWORTUNG DER FRAGEN AUS ZIELSETZUNG 2.1, DER DIE REPRÄSENTATIVITÄT DER STICHPROBE SICHERSTELLT

Die Fragestellung dieses UFOPLAN-Vorhabens sollte für den Bereich ambulant tätiger Ärzte durch eine Stichprobe beantwortet werden, die als repräsentativ für die Gesamtheit der ambulant tätigen Ärzte anzusehen ist.

Im zweiten Teilprojekt wurde ein Stichprobenplan aufgestellt, der es ermöglicht, ausreichende Daten zur Beantwortung der Fragestellung des Vorhabens zu sammeln. Dabei war insbesondere zu berücksichtigen, dass viele im Sinne der Fragestellung relevante Leistungsziffern von unterschiedlichen ärztlichen Fachgruppen abgerechnet werden können. Die Arztgruppen behandeln dabei teilweise gänzlich unterschiedliche Fragestellungen. Somit kann es sein, dass unterschiedliche Arztgruppen unter der gleichen Leistungsziffer Körperregionen in gänzlich unterschiedlicher relativer Gewichtung untersuchen. Zudem ist ein Unterschied im diagnostischen Vorgehen zwischen ermächtigten und niedergelassenen Ärzten denkbar.

2.3 DURCHFÜHRUNG DER STICHPROBENERHEBUNG UND DATENANALYSE NEBST FEHLERABSCHÄTZUNG

Im dritten Teilprojekt sollte eine ausreichend große Stichprobe durchgeführt werden, um die Fragestellung des Vorhabens ausreichend genau zu beantworten.

Neben der Stichprobenerhebung fiel in dieses Teilprojekt die Analyse der Daten sowie eine Abschätzung der Unsicherheit der Resultate.

3. METHODIK

3.1 ERFASSUNG ALLER RELEVANTEN EBM- UND GOÄ-ZIFFERN

Die relevanten Leistungsziffern wurden auf Basis einer Fachanalyse der in 2004 gültigen Leistungskataloge von EBM und GOÄ festgelegt.

3.2 ERSTELLUNG EINES STICHPROBENPLANS, DER DIE REPRÄSENTATIVITÄT DER STICHPROBE SICHERSTELLT

Der Stichprobenplan wurde auf Basis von Fachannahmen über die zeitliche Entwicklung des Untersuchungsverhaltens sowie einer Analyse der Häufigkeitsverteilung abgerechneter Leistungsziffern aus dem Gebiet der Kassenärztlichen Vereinigung Niedersachsen für 2004 erstellt.

3.3 DURCHFÜHRUNG DER STICHPROBENERHEBUNG UND DATENANALYSE NEBST FEHLERABSCHÄTZUNG

Die Erhebung wurde als geschichtete Stichprobe durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte durch strukturierte und halbstrukturierte Interviews sowie durch Erhebung mittels versandter Fragebogen.

Die Unsicherheit σ , mit welcher relativen Häufigkeit eine Untersuchung, die über eine Leistungsziffer liquidiert wird, in einer Körperregion durchgeführt wird, wurde auf Basis der Anzahl N an Untersuchungen in der Körperregion als $\sqrt{N}$ abgeschätzt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERFASSUNG ALLER RELEVANTEN EBM- UND GOÄ-ZIFFERN

Aus den in 2004 gültigen EBM- und GOÄ-Katalogen wurden anhand der jeweiligen Leistungsbeschreibungen diejenigen Leistungsziffern selektiert, die im Sinne der Fragestellung des Vorhabens relevant sind. Dieses sind Leistungsziffern, bei denen der Ort der röntgendiagnostischen Untersuchung oder die Art der Untersu-

chung nicht eindeutig ist. Darüber hinaus wurden Leistungsziffern selektiert, bei denen die Anwendung ionisierender Strahlung fakultativ ist, z. B. bei der Durchführung von Koloskopien.

Die Selektionskriterien werden von 49 Leistungsziffern aus dem EBM-Katalog sowie von 64 Leistungsziffern aus dem GOÄ-Katalog erfüllt. Von den potenziell relevanten Leistungsziffern wurden nur diejenigen berücksichtigt, bei denen der Unsicherheitsbereich einen relevanten Einfluss auf die effektive Dosis hat, z. B. dadurch, dass bei einer Leistungsziffer das Röntgen der Schulter oder der Hüfte möglich ist. Leistungsziffern mit einem vernachlässigbaren Beitrag zur effektiven Dosis oder zu geringem Aufkommen wurden nicht berücksichtigt. Letztlich wurden in Summe 78 Leistungsziffern auf Grund der Fragestellung des Vorhabens berücksichtigt.

4.2 ERSTELLUNG EINES STICHPROBENPLANS, DER DIE REPRÄSENTATIVITÄT DER STICHPROBE SICHERSTELLT

Im Sinne der Zielstellung des Vorhabens war für den Zeitraum vor 2005 zu ermitteln, mit welcher relativen Häufigkeit einzelne Körperregionen bei der Abrechnung einer Leistungsziffer röntgendiagnostisch untersucht wurden. Eine retrospektive Erhebung der Daten anhand der Röntgendokumentation ist an einem ausreichend großen Kollektiv praktisch nicht möglich. Dieses ist nach Einschätzung des Projektteams jedoch auch nicht zwingend notwendig, wenn einige Basisannahmen als gültig anzusehen sind:

- Es wird vorausgesetzt, dass sich die bei der Abrechnung von Leistungsziffern erbrachten Leistungen zwischen 2004 und 2008 nicht wesentlich geändert haben.
- Es wird vorausgesetzt, dass sich die Krankheitsbilder und das Untersuchungsverhalten zwischen 2004 und 2008 nicht wesentlich geändert haben.
- Es wird vorausgesetzt, dass ein Arzt diejenige Leistungsziffer abrechnet, die korrekterweise einer Leistung zuzuordnen ist.

Die obigen Annahmen wurden für die Erhebung als gegeben vorausgesetzt. Es war damit möglich, von aktuellem ärztlichem Vorgehen auf das Vorgehen im Zeitraum vor 2005 zu schließen. Die Erhebung war für alle ärztlichen Fachgruppen getrennt durchzuführen. Danach waren die Resultate für die einzelnen ärztlichen Fachgruppen zusammenzuführen, wobei die relative Häufigkeit, mit der eine ärztliche Fachgruppe eine konkrete Leistungsziffer abrechnet, bekannt sein muss.

Die Häufigkeit, mit der Fachgruppen unterschiedliche Leistungsziffern im für die Erhebung relevanten Zeitraum abrechneten, wurde anhand von Abrechnungsdaten aus dem ambulanten kassenärztlichen Bereich aus dem Jahr 2004 ermittelt. Innerhalb der Stichprobe wurden gemäß Plan für jede Leistungsziffer diejenigen Fachgruppen berücksichtigt, die die größten Anteile an der Leistungserbringung haben und in Summe mehr als 95% der Leistungen erbringen. Die verbleibenden Fachgruppen wurden nicht in der Stichprobe berücksichtigt.

Die relative Häufigkeit, mit der Leistungen im privatärztlichen Bereich erbracht werden, ist nicht bekannt. Es wurde bei der Datenanalyse angenommen, dass diese gleich der Verteilung im kassenärztlichen Bereich ist.

4.3 DURCHFÜHRUNG DER STICHPROBENERHEBUNG UND DATENANALYSE NEBST FEHLERABSCHÄTZUNG

Für die betrachteten Sammelziffern wurden diejenigen Körperregionen, in denen fachlich sinnvoll eine röntgendiagnostische Untersuchung durchgeführt werden kann durch eine Fachanalyse für die jeweils relevanten Fachgruppen ermittelt. Die Sammlung an Leistungsziffern und zugehörigen Körperregionen wurden in einem Master-Erhebungsbogen berücksichtigt. Aus dem Master-Erhebungsbogen wurden individuell Erhebungsbögen für unterschiedliche Arztgruppen erstellt. Dabei wurden die Resultate aus 4.2 über die ärztlichen Fachgruppen berücksichtigt, die in relevantem Umfang eine Leistungsziffer abrechnen.

Die Datenerhebung erfolgte im Wesentlichen auf drei Weisen:

- Es wurden strukturierte Fragebögen für die unterschiedlichen Facharztgruppen erstellt und versandt sowie über diverse Zentren im Rahmen von Strahlenschutzkursen verteilt.
- Für einige Leistungsziffern lassen sich die benötigten Informationen über den Unsicherheitsraum auf der Basis von Daten beschaffen, die ärztliche Stellen im Rahmen ihrer regelmäßigen Überprüfungen erhalten. Diese Informationen wurden genutzt.
- Viele Informationen wurden auf der Basis von strukturierten sowie teilstrukturierten Interviews mit Ärzten unterschiedlicher Fachgruppen erhalten.

Die Analyse der Abrechnungsdaten aus dem kassenärztlichen Bereich zeigten, dass bei etlichen Leistungsziffern mehr als 80% der Leistungen im Raum Niedersachsen von weniger als sechs Ärzten bzw. Praxen ab-

gerechnet werden. Eine Erhebung von Daten in ausreichendem Umfang war bei diesen Ziffern in relevantem Umfang nur durch eine gezielte Ansprache der jeweiligen Ärzte möglich.

Die Analyse der Daten erfolgte unter Berücksichtigung der relativen Häufigkeit, mit der die unterschiedlichen Arztgruppen Leistungen einer Leistungsziffer abrechnen, als geschichtete Stichprobe.

5. ERGEBNISSE

Es zeigte sich vor allen fachlich inhaltlichen Resultaten, dass bei vielen ärztlichen Fachgruppen eine nur sehr begrenzte Bereitschaft zur Herausgabe der benötigten Daten besteht. Als Grund wurden ein ohnehin schon übermäßig hoher Dokumentationsaufwand sowie Datenschutzgründe genannt. Es scheint fraglich, ob eine Studie wie die vorliegende in Zukunft in gleicher Form sinnvoll durchzuführen sein wird.

In Summe konnten für alle als relevant angesehenen Leistungsziffern Informationen über die bestehenden Unsicherheitsbereiche in ausreichendem Umfang erhoben werden. Die Unsicherheit der Resultate ist von wenigen Ausnahmen abgesehen kleiner als 5%. Bei einigen Leistungsziffern ergab sich ein über alle berücksichtigten ärztlichen Fachgruppen (FG) einheitliches Bild, wie z. B. bei der EBM-Ziffer 5053 (Brustorgan-Übersichtsaufnahmen (siehe Tabelle 1):

Tabelle 1:

**Relative Häufigkeit (P) und zugehörige Unsicherheit (S) für die EBM-Ziffer 5053:
Brustorgan-Übersichtsaufnahme in ein oder zwei Ebenen (Eb) ggf. mit Durchleuchtung (DL)**

FG-Nr.	rel. Anteil [%]	Anzahl Unters.	Anzahl 1 Eb + DL	Anzahl 2 Eb	P (1 Eb + DL)	P (2 Eb)	S (1 Eb + DL)	S (2 Eb)
19	3,86	1609	50	1559	0,03	0,97	0,00	0,03
21	1,96	546	0	546	0,00	1,00	0,00	0,06
22	10,48	462	0	462	0,00	1,00	0,00	0,07
29	26,62	601	0	601	0,00	1,00	0,00	0,06
53	51,75	3698	0	3698	0,00	1,00	0,00	0,02
54	5,49	500	0	500	0,00	1,00	0,00	0,06
76	1,34	4445	0	4445	0,00	1,00	0,00	0,02
90	14,47	857	0	857	0,00	1,00	0,00	0,05
gesamt	95,97				0,00	1,00	0,00	0,02

19: Hausärztliche Internisten; 21: Ermächtigte Internisten; 22: Kardiologen; 29: Lungenärzte / Pneumologen; 53: Radiologen; 54: ermächtigte Radiologen; 76: Nichtkassenärzte im Notfall-/Bereitschaftsdienst; 90: Fachärztliche Internisten

Bei zahlreichen Leistungsziffern unterscheidet sich die Zuordnung der röntgendiagnostischen Leistung zu einer Körperregion jedoch deutlich zwischen unterschiedlichen ärztlichen Fachgruppen, z. B. bei der EBM-Ziffer 5022 (Teile des Schultergürtels oder Beckens):

Tabelle 2:

Relative Häufigkeit (P) und zugehörige Unsicherheit (S) für die EBM-Ziffer 5022: Untersuchung von Teilen des Schultergürtels oder Beckens

FG-Nr.	rel. Anteil [%]	Anzahl Unters.	Anzahl Schulter	Anzahl Becken	P (Schulter)	P (Becken)	S (Schulter)	S (Becken)
7	20,27	3489	3328	161	0,95	0,05	0,02	0,00
8	3,27	482	347	135	0,72	0,28	0,05	0,03
44	53,58	8583	7709	874	0,90	0,10	0,01	0,00
53	10,51	1489	1180	309	0,79	0,21	0,03	0,01
54	2,12	872	824	48	0,94	0,06	0,05	0,01
76	5,45	2245	2219	26	0,99	0,01	0,03	0,00
gesamt	95,20				0,92	0,08	0,01	0,00

7: Chirurgen; 8: Ermächtigte Chirurgen; 44: Orthopäden; 53: Radiologen; 54: ermächtigte Radiologen; 76: Nichtkassenärzte im Notfall-/Bereitschaftsdienst

Bei diesen Leistungsziffern ist der Mittelwert stark von der relativen Häufigkeit abhängig, mit der unterschiedliche ärztliche Fachgruppen Leistungen erbringen. Sollte sich etwas an dieser relativen Häufigkeit der Leistungserbringung ändern, wird sich das Ergebnis zukünftig deutlich ändern.

Grundsätzlich scheint die genutzte Herangehensweise so robust, dass auf Basis der Daten eine Abschätzung der Verteilungen auch für andere Kataloge von Leistungsziffern, z. B. EBM2000plus, möglich ist.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Durch Artikel 12 der Richtlinie 97/43/Euratom (PatSchRL) ist die Bundesregierung verpflichtet, Daten zur Strahlenexposition der Bevölkerung und relevanter Bezugsgruppen durch medizinische Expositionen zu erheben. Durch § 28 Abs. 9 Röntgenverordnung wird das BfS beauftragt, die medizinische Strahlenexposition der Bevölkerung regelmäßig zu ermitteln und zu bewerten.

Die Erfassung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch medizinische Maßnahmen ist aus strahlenhygienischer Sicht unabdingbare Grundlage für politische Entscheidungen auf dem Gebiet des Strahlenschutzes und der Gesundheitsvorsorge. Das Vorhaben komplementiert die vom BfS regelmäßig durchgeführten Erhebungen und Bewertungen zur medizinischen Strahlenexposition. Dadurch wird die Basis für Entscheidungen und Maßnahmen zur Reduzierung der medizinischen Strahlenexposition der Bevölkerung sowie die Ausgangslage für die Berichterstattung an die Vereinten Nationen (UNSCEAR-Bericht) verbessert.

Themenbereich 05
Radioökologie

Subject area 05
Radioecology

Thema Klärung technischer und rechtlicher Fragestellungen bei der Beseitigung radioaktiv kontaminierter Abfälle landwirtschaftlicher Produkte nach Ereignissen mit nicht unerheblichen radiologischen Konsequenzen			
Subject <i>Clarification of technical and legal questions concerning the disposal of radioactive contaminated agricultural products following events with significant radiological consequences</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3608S04572	Beginn 01.04.2008	Ende 15.11.2009	Fördermittel EUR 250.894,-
Forschungs- / Auftragnehmer Öko-Institut Darmstadt			
Projektleitung Chr. Küppers	Fachbetreuung BfS I. Strilek / SW 2.3	verantwortlich für den Text Chr. Küppers, I. Strilek	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens war es, die fachlichen Anforderungen an eine rechtliche Regelung für eine geordnete Beseitigung großer Mengen radioaktiv kontaminierter Abfälle aus dem landwirtschaftlichen Bereich zu definieren und einen ersten Regelungsentwurf für eine Eilverordnung vorzuschlagen, die eine rasche und sichere Beseitigung der Abfälle auf verschiedenen Wegen rechtlich ermöglicht.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben war in vier Arbeitspakete unterteilt:

2.1 BESTANDSAUFNAHME

Ziele waren eine Bestandsaufnahme zu den qualitativen und quantitativen Stoffströmen, eine Konkretisierung von Verdrängungssituationen in der Entsorgungswirtschaft sowie die Analyse und Darstellung der gegenwärtigen Rechtslage.

2.2 UNTERSUCHUNG AUSGEWÄHLTER ENTSORGUNGSWEGE

Ziel war die Untersuchung ausgewählter Entsorgungswege. Dazu wurden die physikalisch/technischen Anforderungen an das zu beseitigende Produkt für jede Beseitigungsart zusammengestellt. Radiologische Aspekte, insbesondere das Verhalten und der Verbleib radioaktiver Stoffe bei der Verbrennung und anderen Entsorgungsarten, wurden einbezogen. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse waren die technischen Anforderungen an Anlagen und Verfahren zur Beseitigung radioaktiv kontaminierter, landwirtschaftlicher Produkte zu definieren.

2.3 ERSTELLUNG EINES ZUSAMMENFASSENDEN BERICHTS FÜR DIE BETRACHTETEN ENTSORGUNGSPFADE

Im Rahmen des dritten Arbeitspaketes sollten die Ergebnisse aus 2.1 und 2.2 zusammenfassend dargestellt werden. Das Verhalten und der Verbleib der radioaktiven Stoffe wurden ebenso dargestellt wie die technischen Anforderungen. Hergeleitete Anforderungen an den Regelungsbedarf wurden konkretisiert.

2.4 ENTWURF EINER EILVERORDNUNG

Ziel war, für die bei Untersuchung der Entsorgungswege gefundenen sinnvollen Entsorgungsoptionen einen Vorschlag für eine Eilverordnung zu erarbeiten, die deren Anwendung im Bedarfsfall ermöglicht.

3. METHODIK

Die Zusammenstellung der Ergebnisse erfolgte durch Auswertung von Fachliteratur, der diesbezüglichen Rechtsvorschriften und der Ergebnisse fachbezogener Gremien und Arbeitsgruppen. Vertiefende Darstellungen wurden durch Zuarbeiten von Experten der Abfallwirtschaft erarbeitet.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte in drei Zwischenberichten und einem abschließendem Gesamtbericht. In regelmäßigen Abständen wurde in Beratungen mit dem Forschungsthemenbegleiter sowie dem BMU der Stand der Arbeiten dargelegt und das weitere Vorgehen besprochen.

4. DURCHFÜHRUNG

Im ersten Projektgespräch am 15.04.2008, an dem auch das BMU vertreten war, wurden offene Fragen zum Inhalt des Projekts geklärt. Ziel des zweiten Projektgespräches am 31.10.2008 war die Klärung rechtlicher Fragen, die nach dem ersten Zwischenbericht aufgetreten waren. Zur Vertiefung der Rechtsproblematik im Abfallbereich fand am 17.11.2008 ein ergänzendes Gespräch statt. Anschließend wurde der zweite Zwischenbericht mit Ausarbeitungen zu bestimmten Entsorgungswegen vorgelegt, Mitte 2009 der dritte Zwischenbericht mit Ausarbeitungen zu allen zu betrachtenden Entsorgungswegen einschließlich rechtlicher Randbedingungen. Im Entwurf des Abschlussberichts wurde Ende 2009 ein Vorschlag für eine Eilverordnung formuliert, der im weiteren Verlauf mit BfS und BMU diskutiert wurde.

5. ERGEBNISSE

5.1 UNFALLSZENARIO, ZU ENTSORGENDE MASSEN UND ENTSORGUNGSWEGE

Zunächst wurde ein Unfallszenario definiert, das den weiteren Untersuchungen zu Grunde gelegt wurde. Es wurde von einem Kernschmelzen mit frühem Containmentversagen ausgegangen, um möglichst ungünstige Randbedingungen für die weiteren Untersuchungen zu erreichen. Es ergaben sich die maximal als zu entsorgend anzusetzenden Mengen, die in Tabelle 1 aufgelistet sind. Abbildung 1 zeigt die untersuchten Entsorgungswege im Überblick.

Tabelle 1:
Masse der maximal zu entsorgenden landwirtschaftlichen Produkte

Produkt	zu entsorgende Masse in Mg
Milch	1.700.000
Fleisch	550.000
Blattgemüse	310.000
Fruchtgemüse	90.000
Wurzelgemüse	185.000
Kartoffeln	3.400.000
Rüben	8.000.000
Ölfrüchte	1.250.000
Getreide mit Halm	31.000.000
Silomais	11.500.000
andere Futterpflanzen (Gras, Klee, Luzerne usw.)	1.150.000
Weintrauben	620.000
Obst	620.000

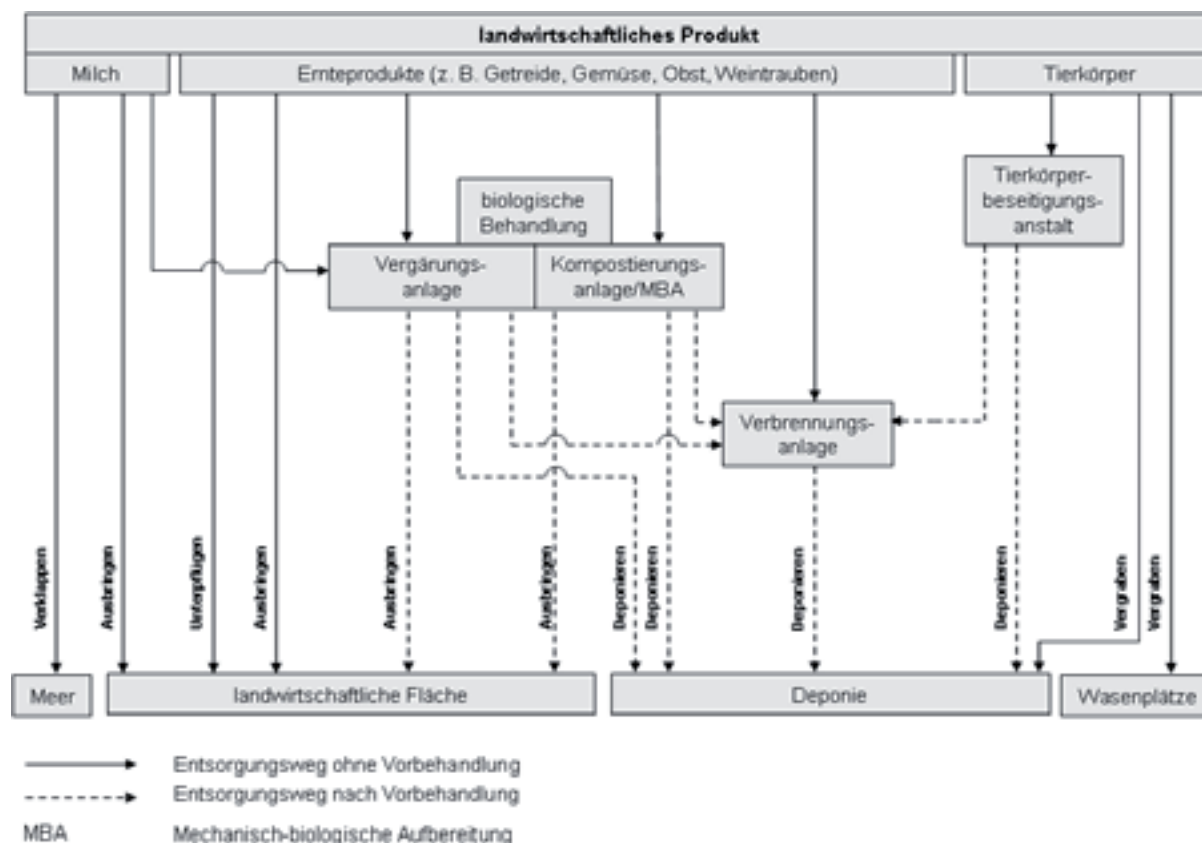


Abbildung 1:
Überblick über die zu untersuchenden Entsorgungswege

Die in Deutschland zur Verfügung stehenden Kapazitäten für diese Entsorgungswege wurden untersucht und dabei wurde auch die Verdrängungssituation diskutiert. Zur Überbrückung von Engpässen kommt die Zwischenlagerung von landwirtschaftlichen Produkten in Frage, insbesondere die landwirtschaftliche Zwischenlagerung von Ernteprodukten, die Zwischenlagerung von Ernteprodukten auf Deponiestandorten sowie die Zwischenlagerung von Milch in Behältern für Gülle beim Erzeuger.

5.2 SCHLUSSFOLGERUNGEN ZU DEN UNTERSUCHTEN ENTSORGUNGSWEGEN

Das Ausbringen und das Unterpflügen stellen die Entsorgungsoptionen dar, bei denen keine grundsätzlichen Kapazitätsengpässe bestehen, und die in geringstem Umfang besondere Anforderungen im Hinblick auf Infrastruktur, Logistik und technische Durchführbarkeit stellen. Auch unter radiologischen Gesichtspunkten lassen diese Entsorgungswege Vorteile erwarten. Für die landwirtschaftliche Kompostierung und Tierkörperbeseitigung bestehen ebenfalls keine Kapazitätsengpässe, wohl aber für die biologische Behandlung durch Kompostierung in Anlagen und für die Vergärung. Besondere Anforderungen im Hinblick auf Infrastruktur, Logistik und technische Durchführbarkeit stellen diese vier Entsorgungswege nicht. Radiologische Einschränkungen können sich durch Anreicherungsprozesse ergeben.

Technisch und infrastrukturell eingeschränkte Entsorgungsoptionen sind die mechanisch-biologische Abfallbehandlung, das Vergraben von Tierkörpern, die Verbrennung, die Deponierung und die Verklappung. Insbesondere bei der Verbrennung kommt es zu Anreicherungsprozessen in Rückständen, die zu radiologisch bedingten Einschränkungen führen können. Bei einem Verklappen von kontaminierter Milch könnte nicht auf bestehende logistische Systeme zurückgegriffen werden.

Zur Zwischenlagerung können auf landwirtschaftlichen Flächen vorübergehend „Feldrandzwischenlager“ eingerichtet werden. Eine weitere Option der Zwischenlagerung ist die Einrichtung von Zwischenlagern auf Deponien. Für die Zwischenlagerung von Milch zum Ausbringen oder Vergären stehen die Güllebehälter der Erzeuger zur Verfügung.

Aus rechtlicher Sicht ist für die einzelnen Entsorgungswege insgesamt festzustellen, dass

- für einen Entsorgungsweg neben den Regelungen zur konventionellen Abfallentsorgung auch bereits Regelungen im Hinblick auf eine radioaktive Kontamination adressiert werden (Verklappung auf See),
- für einige Entsorgungswege umfangreiche Regelungen im Hinblick auf die konventionelle Abfallentsorgung bestehen, aber der Umgang mit radioaktiv kontaminierten Stoffen nicht adressiert wird (Verbrennung von tierischen Abfällen, Separieren von Tierkörpern, Vergraben von Tierkörpern, Verbrennung von pflanzlichen Abfällen, Deponierung, Kompostierung, Vergärung und MBA (Mechanisch-biologische Aufbereitung)),
- für einige Entsorgungswege die Regelungen lückenhaft und zudem auf der Ebene der Bundesländer unterschiedlich ausgestaltet sind, dies gilt für den konventionellen und den radioaktiven Bereich (Ausbringen und Unterpflügen organischer Materialien).

Es ist weiterhin festzustellen, dass

- bei der Verklappung, bei welcher der Umgang mit radioaktiven Stoffen bisher noch adressiert wird, auf Grund internationaler Abkommen keine Ergänzungen im nationalen Alleingang vorgenommen werden können; im Übrigen die Tendenz besteht, die Verklappung radioaktiver Stoffe zu untersagen,
- in denjenigen Regelungsbereichen, in denen die konventionelle Abfallentsorgung umfassend geregelt ist, ein gutes Regelungsfundament für punktuelle Ergänzungen besteht,
- die Festlegung von Schwellenwerten empfehlenswert ist, um Rechtssicherheit über eine unterschiedliche Vorgehensweise bei der Entsorgung zu gewährleisten,
- bei der Mehrheit der Entsorgungswege ein Anlagenzwang besteht, die Entsorgung, sei es Verwertung oder Beseitigung, also nur in entsprechend dafür vorgesehenen Anlagen durchgeführt werden kann. Dies bedeutet gleichzeitig, dass anlagenbezogene Anforderungen beachtet werden müssen, die Gegenstand einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung sind. Diese Anforderungen müssen beim Umgang mit kontaminierten Stoffen unter Umständen ergänzt und anlagenspezifisch ausgestaltet werden, dann ist eine Genehmigungsänderung vorzunehmen.

Diejenigen Entsorgungswege, die keinem Anlagenzwang unterliegen, da sie gerade Ausnahmen vom Anlagenzwang darstellen sollen (Ausbringen und Unterpflügen organischer Materialien sowie Vergraben tierischer Nebenprodukte), weisen an dieser Stelle einen Vorteil auf, da sie mangels Änderungsaufwand schneller eingesetzt werden könnten.

5.3 OFFENE NICHT-RECHTLICHE FRAGEN

Bei der Bearbeitung des Forschungsvorhabens haben sich verschiedene offene Fragen ergeben, die derzeit nicht geklärt sind, jedoch für die Durchführung von Maßnahmen zur Entsorgung landwirtschaftlicher Produkte relevant sein können. Identifiziert wurden vor allem offene Fragen in Zusammenhang mit dem finanziellen Aufwand der Entsorgung sowie der Akzeptanz.

5.4 GRUNDLAGEN UND STRUKTUR EINER EILVERORDNUNG

Im Forschungsvorhaben wurden die folgenden Regelungsschwerpunkte diskutiert:

- Sachlicher und persönlicher Anwendungsbereich,
- Konzeption von Schwellenwerten nach StrVG (Dosis- und Kontaminationswerte),
- Berücksichtigung der Entsorgungsoptionen (außer den nicht weiter in Betracht zu ziehenden Optionen Verklappung und Vergraben von Tierkörpern) mit Unterscheidung von den Verwertungs- und den Beseitigungspfaden,
- Zwischenlagerung von Ernteprodukten,
- Regelung der Zuständigkeiten und Kompetenzen im Rahmen der Bundesauftragsverwaltung.

Es wurde ein Formulierungsvorschlag für eine „Verordnung zur Entsorgung der durch ein Ereignis mit möglichen nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen radioaktiv kontaminierten landwirtschaftlichen Erzeugnisse (Eilverordnung)“ entworfen. Dieser Vorschlag gliedert sich in fünf Abschnitte: Allgemeine Regelungen (Abschnitt 1), Schwellenwerte (Abschnitt 2), Entsorgungsoptionen (Abschnitt 3), Zwischenlagerung (Abschnitt 4) und sonstige Bestimmungen (Abschnitt 5) und drei Anhänge. Die oben genannten Regelungsschwerpunkte sind darin abgearbeitet.

5.5 AUSSTEHENDER UNTERSUCHUNGSBEDARF

Als weiterer Untersuchungsbedarf, der nicht mehr im Rahmen des Forschungsvorhabens zu bearbeiten war, wurde insbesondere die Problematik der Aufkonzentrierung von radioaktiven Stoffen bei Bearbeitungsprozessen identifiziert. Die Aufkonzentrierung kann im Einzelfall Aktivitätswerte erreichen, die es notwendig machen, die Rückstände gesondert zu beseitigen, insbesondere bei der Verbrennung. Es müssen die Voraussetzungen geprüft werden, die eine Entscheidung darüber zulassen, inwieweit eine Beseitigung der Rückstände im Rahmen der Eilverordnung erfolgen kann oder ob eine Öffnungsklausel für die Beseitigung nach Atomgesetz (Endlagerung) angezeigt ist.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Am 19.01.2010 fand ein abschließendes Projektgespräch zum Forschungsvorhaben statt. Hier wurde der Abschlussbericht mit kleinen redaktionellen Änderungen abgenommen und das weitere Vorgehen besprochen. An dem Gespräch nahmen Vertreter des BMU und des BfS teil.

Der Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben soll in Gremien des BMU vorgestellt und diskutiert werden. Zunächst wird der Bericht auf einer der folgenden Sitzungen des Ausschusses Notfallschutz der SSK vorgestellt.

Das BMU wird den Vorschlag für die Eilverordnung (Schubladenverordnung zur Beseitigung radioaktiv kontaminierter Abfälle im Falle eines Ereignisses mit nicht unerheblichen radiologischen Konsequenzen im In- oder Ausland) sowie die Möglichkeit deren Umsetzung, evt. in Zusammenarbeit mit anderen Ministerien, prüfen.

Das Konzept der Eilverordnung basiert auf der Vorgabe von Schwellenwerten, deren notwendige Konzeption durch das StrVG vorgegeben ist. Ohne diese Werte ist die Verabschiedung einer Eilverordnung nicht möglich. Deshalb ist es notwendig, im nächsten Schritt die Konzeption der Schwellenwerte voranzubringen.

Themenbereich 06
Notfallschutz

Subject area 06
Emergency management

Thema Katalog von Übungsszenarien und eine Übungsdokumentation für behördliche Notfallschutzorganisationen			
Subject <i>Catalogue of exercise scenarios and an exercise documentation for emergency response authorities</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3607S04558	Beginn 01.08.2007	Ende 30.11.2009	Fördermittel EUR 239.814,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH			
Projektleitung Dr. M. Sogalla	Fachbetreuung BfS N. Zander / SW 2.2		verantwortlich für den Text Dr. M. Sogalla, N. Zander

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Vorhabens war die Erarbeitung von geeigneten Übungsszenarien und Übungsdokumentation für das Training der behördlichen Notfallorganisationen auf dem Gebiet des radiologischen Notfallschutzes. Auf der Grundlage der Ergebnisse vorliegender Untersuchungen zu Unfallabläufen am Beispiel von zwei Referenzanlagen mit Druckwasser (DWR)- und Siedewasserreaktor (SWR) wurde im Rahmen des Vorhabens ein Szenarienkatalog erarbeitet. Einen bedeutenden Trainings-Schwerpunkt bildete die fachübergreifende Zusammenarbeit der beteiligten Notfallstabseinheiten. Die bisherige Übungspraxis der Notfallschutzorganisation des Bundes (BMU / BfS) soll hierdurch optimiert und weiter entwickelt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Rahmen des Vorhabens wurde exemplarisch für je eine DWR- und SWR-Anlage ein Katalog mit Übungsszenarien und Vorschlägen für eine entsprechende Übungsdokumentation für Notfallschutzübungen der BMU / BfS-Notfallorganisation erarbeitet und mit entsprechenden Übungsdokumenten als Übungs-Handbuch vorgelegt. Darin sind Vorschläge zu folgenden Aspekten enthalten:

- Übungsszenarien für beide Referenzanlagen, die das gesamte Meldespektrum zeitabhängig vom jeweiligen Ereignisverlauf abdecken,
- Zusammenstellung von Unterlagen zur Übungsdokumentation für die Planung, Durchführung und Auswertung behördlicher Notfallschutzübungen,
- Hinweise für eine praktische Anwendung vorgeschlagener Szenarien und deren Übertragbarkeit auf andere Standorte kerntechnischer Anlagen, Einsatz der Übungsdokumentation und Empfehlungen zu einer effizienteren Organisation behördlicher Übungen.

Unter Verwendung des erarbeiteten Szenarienkatalogs und der entsprechenden Übungsdokumente wurde eine Notfallübung der behördlichen Notfallorganisationen (BMU / BfS) am Beispiel einer Referenzanlage vorbereitet, durchgeführt und in einem gesonderten Übungsbericht ausgewertet. Weiterhin wurden Ergebnisse einer Auswertung nationaler und internationaler behördlicher Übungspraxis mit daraus resultierenden relevanten Empfehlungen dokumentiert.

3. METHODIK

Die Konzeption der Übungsszenarien basiert auf der Grundlage der Ergebnisse vorliegender Sicherheitsanalysen zu Abläufen von kerntechnischen Unfällen. Die Quelltermermittlung stützt sich auf bestehende Unfallablaufsimulationen mit dem integralen Rechenprogramm MELCOR. Darüber hinaus werden u. a. mittels der MELCOR-Simulationsergebnisse die für die Übungsszenarien relevanten Informationen über den Anlagenzustand bereitgestellt. Die Ermittlung der potenziellen radiologischen Konsequenzen stützt sich auf Berechnungen der Strahlenexposition und Kontamination mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS (realtime online decision support system). Meldungen aus der Anlage und weitere relevante Informationsflüsse an die Notfallorganisation wurden auf Basis bestehender Erfahrungen und Übungspraxis simuliert.

Die Gestaltung der Übungsszenarien und die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung einer Übung erfolgten unter Berücksichtigung internationaler Vorgaben sowie von Erkenntnissen aus der nationalen und internationalen Übungspraxis.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben ist in die Arbeitspakete „Katalog Übungsszenarien“, „Internationale Vorgehensweisen bei der behördlichen Übungspraxis auf dem Gebiet des Notfallschutzes“ und „Vorbereitung, Durchführung und Auswertung einer Notfallübung“ gegliedert. Diese Arbeitspakete sind wie folgt untergliedert:

1. Katalog Übungsszenarien:
 - Anlagenzustände, Freisetzungen,
 - Radiologische Auswirkungen und Gegenmaßnahmen,
 - Vorgaben für die Notfallorganisation,
 - Vorschläge Übungsdokumentation,
 - Übertragbarkeit auf andere Standorte,
 - Empfehlungen für behördliche Übungen.
2. Internationale Vorgehensweisen:
 - Internationales Regelwerk,
 - Internationale Praxis,
 - Ableitung von Empfehlungen.
3. Notfallschutzübung:
 - Vorbereitung,
 - Durchführung,
 - Auswertung und Ableitung von Empfehlungen.

5. ERGEBNISSE

5.1 KATALOG ÜBUNGSSZENARIEN

Im Arbeitspaket 1 wurden zunächst jeweils drei Szenarien für DWR und SWR mit Verläufen der anlagentechnischen Parameter und Freisetzungsverläufen erarbeitet. Auf Basis der Ergebnisse wurde speziell für die Belange der vorzubereitenden BMU/BfS-Übung im AP 3 zusätzlich das Szenario DWR 1a konzipiert. Es wurden für alle Szenarien eine Grob- und eine Detailanalyse der radiologischen Auswirkungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Szenarienberechnungen wurden umfassend dokumentiert. Die für eine Übung erforderlichen Vorgaben für die Notfallorganisationen von BMU und BfS wurden erläutert. Die Grundlage für die konkrete Ausgestaltung von Übungen bildet eine modulare Aufgabeneinteilung für die behördliche Notfallorganisation, auf der die je nach Übungsziel zu simulierenden Informationsflüsse basieren. Die entsprechenden Schnittstellen und Vorgaben für Informationsflüsse wurden detailliert erläutert. Es wurden umfassende Vorschläge zur Übungsdokumentation erarbeitet. Zur Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von Übungen wurden Vorlagen für erforderliche orientierende Unterlagen dokumentiert und Empfehlungen formuliert. Diese basieren auf internationalen Vorgaben, insbesondere den detaillierten Leitfäden der IAEO zu diesem Thema (sowie auf den Erfahrungen bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Übung CORE 2009 im Rahmen des Vorhabens (vgl. AP 3). Die Übertragbarkeit der vorgestellten Szenarien auf andere Anlagentypen und Standorte wurde diskutiert und insbesondere die Erreichbarkeit von Übungszielen auch bei begrenzter Übertragbarkeit bewertet. Die Ergebnisse des Vorhabens in Bezug auf die mögliche Effizienzsteigerung von Übungen für die Notfallschutzorganisationen des Bundes wurden ausgewertet und entsprechende Empfehlungen abgeleitet.

5.2 INTERNATIONALE VORGEHENSWEISEN BEI DER BEHÖRDLICHEN ÜBUNGSPRAXIS AUF DEM GEBIET DES NOTFALLSCHUTZES

Neben den zentralen Dokumenten der Internationalen Atom-Energie-Organisation (IAEO) zur Übung von kerntechnischen und radiologischen Notfällen wurden auch Dokumente, die sich generell mit Notfallschutz befassen, recherchiert. Zusätzlich wurden Vorgaben und Übungspraxis bei der Europäischen Union (EU) und

der Nuklearen Energie-Agentur (NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) recherchiert. Länderbezogen wurden verfügbare Unterlagen für die Schweiz, Frankreich und Finnland ausgewertet. Auf nationaler Ebene wurden eine Online-Recherche bzgl. der im Internet verfügbaren einschlägigen Dokumente für die Schweiz, Frankreich und Finnland durchgeführt.

Basierend auf diesen Auswertungen wurden Empfehlungen aus der internationalen Praxis für die Übungspraxis der Notfallschutzorganisationen des Bundes abgeleitet.

5.3 VORBEREITUNG, DURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG EINER NOTFALLÜBUNG

Im Arbeitspaket 3 wurde die Notfallübung CORE 2009 unter Beteiligung der BMU/BfS-Notfallorganisation geplant und am 28.05.2009 im vorgesehenen Umfang durchgeführt. Der ausführliche Übungsbericht wurde dem BfS im August 2009 vorgelegt. Die Übung CORE 2009 bestätigt die grundsätzliche Eignung der im Vorhaben erarbeiteten Szenarien für die Übungsgestaltung, zeigte aber auch, dass zur konkreten Ausgestaltung einer Übung spezifische Anpassungen des Szenarios zweckdienlich sein können. Diese Anpassungen wurden in der Vorbereitungsphase mit pragmatisch vertretbarem Aufwand erfolgreich durchgeführt. Die Übung selbst lieferte wesentliche Erkenntnisse, die für eine Effizienzsteigerung der Notfallorganisationen von BMU und BfS genutzt werden können.

Das anlagentechnische Szenario der Übung CORE 2009 ist in Abbildung 1 illustriert. Das zu Grunde liegende Ereignis bezieht sich auf einen Dampferzeuger (DE)-Heizrohrbruch mit fehlerhaft offen stehendem Frischdampf (FD)-Ventil und Ausfall der Wärmeabfuhr über die intakten Dampferzeuger in einer DWR-Referenzanlage. In der Folge werden zusätzlich der Ausfall der Hochdruck-Sicherheitseinspeisung (HD-SiP) sowie die Nichtverfügbarkeit der Niederdruck(ND)-Einspeisung auf Anforderung angenommen. Die Kurve des Druckverlaufs im Primärkreis illustriert den allmählichen Kühlmittelverlust. Nach Ende der Druckspeicher (DRSP)-Einspeisung kommt es zu einer Freilegung der Brennelemente (BE) und entsprechenden Kernschäden mit erheblichen Freisetzungen. Schließlich kann das FD-Ventil geschlossen und die Kühlung wieder hergestellt werden.

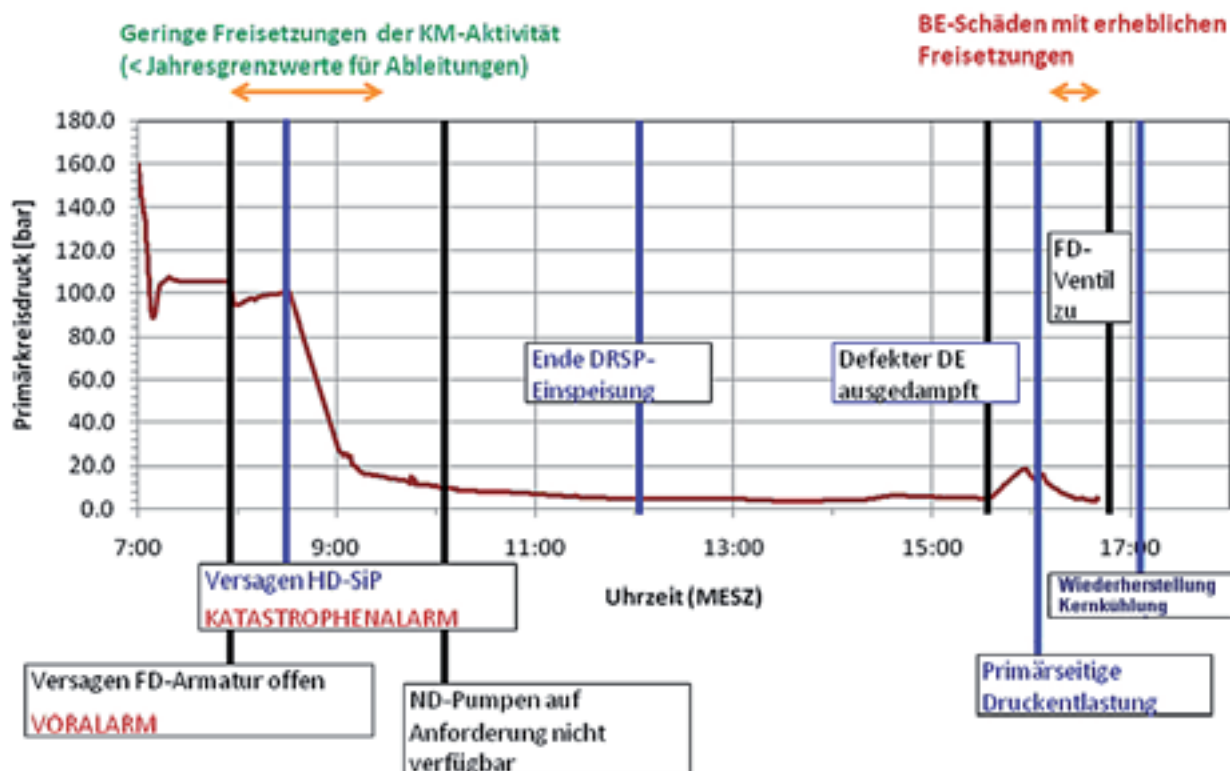


Abbildung 1:
Darstellung des anlagentechnischen Szenarios für die Übung CORE 2009

Auf dem anlagentechnischen Szenario bauen alle weiteren für die Übung CORE 2009 erstellten Teilszenarien auf. Diese beziehen sich auf die radiologischen Auswirkungen, die angenommenen Katastrophenschutzmaßnahmen und die simulierten Reaktionen von Öffentlichkeit und Medien sowie Anfragen aus anderen Bundes-

ressorts. Alle Teilszenarien wurden in ein Übungsdrehbuch integriert, das sowohl die Basis für die zeitgerechte Einspielung aller Übungseinlagen als auch für die Auswertung des zeitlichen Übungsablauf bildete. Hierdurch wurde eine minutiöse Rekonstruktion der während der Übung erfolgten Kommunikationsvorgänge und Informationsflüsse ermöglicht, aus der zusammen mit Ergebnissen der Übungsbeobachtung und dem Erfahrungsrückfluss durch die Übungsteilnehmer detaillierte Empfehlungen zur Effizienzsteigerung der Notfallorganisationen von BMU und BfS abgeleitet werden konnten.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die vom Auftragnehmer erarbeiteten Übungsszenarien tragen zu einer weiteren Verbesserung der Realitätsnähe bei der Gestaltung von behördlichen Notfallübungen bei und ermöglichen somit ein zielgerichtetes und effizientes Training. Diese Übungsszenarien stellen eine solide Grundlage für die Gestaltung von zukünftigen Übungen behördlicher Notfallorganisationen. Die erarbeiteten Vorschläge für die Übungsdokumentation sowohl in der Planungsphase als auch bei der Durchführung und Auswertung von Notfallübungen werden beim Training behördlicher Notfallorganisationen verwendet. Ebenso werden die Erfahrungen aus der im Rahmen des Vorhabens durchgeführten BMU/BfS-Übung CORE 2009 bei der Vorbereitung und Durchführung von zukünftigen Notfallübungen berücksichtigt.

Eine Fortschreibung des Szenarienkatalogs wäre hilfreich, um das Spektrum der im möglichen Ereignisfall mit radiologischem Potential für die behördlichen Notfallorganisationen anstehenden Aufgaben vollständiger abzudecken. Dazu gehören solche krisenhaften Ereignisse wie Transportunfälle mit radiologisch relevanten Gütern, terroristische Anschläge, Unfälle in kerntechnischen Anlagen im benachbarten Ausland etc.. Fundierte Übungsszenarien, die auf den aktuellen Erkenntnissen über mögliche Gefahrenpotentiale basieren, sind für ein effektives Training behördlicher Notfallorganisationen unabdingbar.

Themenbereich 07

Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Subject area 07

Projects of general importance to radiation protection

Thema Workshop: „Frauen in der Strahlenforschung - ein Jahrhundert nach Marie Curie“			
Subject <i>Workshop: “Women in Radiation Sciences - a Century after Marie Curie”</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3609I02201	Beginn 01.05.2009	Ende 31.07.2009	Fördermittel EUR 8.578,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München			
Projektleitung Prof. Dr. F. Eckardt-Schupp	Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.1	verantwortlich für den Text Dr. S. Moertl	

1. ZIELSETZUNG

Aufgabe des Workshops war es, den aktuellsten Kenntnisstand in den Gebieten moderner molekularer und klinischer Strahlenforschung darzustellen. Dazu wurde am Helmholtz Zentrum München (HMGU) ein dreitägiger Workshop „Women in Radiation Sciences - a Century after Marie Curie“ insbesondere für den Nachwuchs in der Strahlenforschung organisiert. Fernerhin wurden in einem Plenarvortrag Frauen gewürdigt, die in der Strahlenforschung sehr wichtige Beiträge geleistet haben, wie z. B. Marie Curie und ihre Tochter Irene, Lise Meitner, Paula Hertwig und viele weitere.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 DARSTELLUNG DES AKTUELLSTEN STANDES IN DER WISSENSCHAFTLICHEN UND KLINISCHEN STRAHLENFORSCHUNG

Das Hauptziel dieses Workshops war einen möglichst aktuellen Einblick in die neueste wissenschaftliche und klinische Strahlenforschung zu geben. In vier thematisch verschiedenen Sitzungen sollte die Breite in der Strahlenforschung durch die Beteiligung nationaler und internationaler Rednerinnen zum Ausdruck gebracht werden. Durch die zusätzliche Präsentation von Kurzvorträgen (proffered papers) in jeder Sitzung sollte die Möglichkeit zur Darstellung aktuellster Befunde gegeben werden.

2.2 SCHWERPUNKTTHEMA

Dem Schwerpunktthema „Bedeutung geschlechtsspezifischer Unterschiede in der zellulären Reaktion auf Bestrahlung sowie anderer genotoxischer Agenzien“ sollte besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

3. METHODIK

Der Workshop wurde an drei Tagen durchgeführt, wobei am ersten und am letzten Tag An- und Abreise berücksichtigt wurden. Für den Workshop wurden ausgewählte Rednerinnen eingeladen, die zu vier Themenbereichen Vorträge hielten, die anschließend diskutiert wurden. Am ersten Abend fand eine Poster-Session statt. Die vier Schwerpunktthemen waren:

18.5.: Session I: Cellular Responses to Radiation: DNA Repair and Disease, Poster Session

19.5.: Session II: Cellular Responses to Radiation: Signalling, Cell Cycle and Apoptosis

Session III: Sex-Specific Reactions toward Genotoxic Agents?

20.5.: Session IV: Hot Spicy Topics in Radiation Sciences

Der Workshop wurde wegen des internationalen Publikums in englischer Sprache durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

Der dreitägige Workshop „Women in Radiation Sciences - a Century after Marie Curie“ fand vom 18.-20. Mai 2009 im Helmholtz Zentrum München statt. Für die 105 Teilnehmer und Teilnehmerinnen (75%) aus 6 Nationen setzte sich das Programm aus 2 Übersichtsvorträgen, 4 Symposien mit je 7-8 Vorträgen zusammen, wobei 20 eingeladene und 7 aus den eingereichten Beiträgen ausgewählte Sprecher/innen ihre Daten präsentierten. Weitere 34 Teilnehmer/innen konnten ihre Daten im Rahmen einer Posterpräsentation vorstellen. Durch die Vergabe von fünf Reisestipendien wurde im Rahmen dieses Workshops ein besonderes Augenmerk auf die Stärkung insbesondere der jungen Wissenschaftlerinnen gelegt.

Der Workshop wurde durch ein Grußwort von der Leiterin des Vorhabens Friederike Eckardt-Schupp eröffnet, die wissenschaftliche Einleitung erfolgte durch einen Übersichtsvortrag von Ethel Moustacchi, die einen Rückblick auf ihr Lebenswerk hinsichtlich der biologischen Effekte von Bestrahlung mit niedriger Dosis gab. Direkt im Anschluss fand das erste Symposium unter dem Titel „Bedeutung der DNA(Desoxyribonucleinsäure)-Reparatur für die zelluläre Reaktion nach Bestrahlung“ statt, welches die Themen Adaptive Response, (Priscilla Cooper), Regulation und Auswirkungen des Adaptiven Immunsystems (AID) auf die somatische Hypermutation (Berit Jungnickel), Bedeutung von BRCA1, BRCA2 sowie p53 für das Brustkrebsrisiko (Lisa Wiesmüller), Einfluss von genetischen Varianten in DNA-Reparaturgenen auf das Risiko eine Strahlenreaktion des Normalgewebes (Odilia Popanda), Analysen chromosomaler Veränderungen bei Kopf-Hals-Tumoren mit schlechter Prognose (Verena Bauer), Einfluss von Histondeacetylasen nach Bestrahlung von 3D-Kulturen (Katja Storch) und Auswirkung von Cyclosporin A auf die Nukleotidexzisionsreparatur (Christiane Kuschal) beinhaltete. Anschließend fand eine gut besuchte Posterpräsentation statt, bei der es zu ausgiebigen und sehr interessanten Diskussionen kam.

Die zweite Session mit dem Schwerpunkt „Bedeutung von schadensinduzierten Signalkaskaden, Zellzyklus und Apoptose für die zelluläre Antwort auf Bestrahlung“ wurde eröffnet durch Daten zur Bedeutung von RAD51 für den Fortschritt der Replikation nach Schädigung (Eva Petermann), gefolgt von einem Beitrag bezüglich der Strategien der europäischen Forschung für das Risiko von Bestrahlung mit niedrigen Dosen (Mike Atkinson), die modulierende Strahlenwirkung des Phosphatase-Inhibitors Suramin unter Berücksichtigung des p53-Statuses (Petra Ohneseit), die DNA-Reparatur im Heterochromatin (Penny Jeggo), die Regulation des Zelltods und dessen Bedeutung für die Resistenzbildung unter Strahlentherapie (Irmela Jeremias), Strahleninduktion von zellulären Stressproteinen (Daniela Schilling) und abgeschlossen mit der Bedeutung der Expression des EGFR für die Strahlenempfindlichkeit (Ulla Kasten-Pisula).

Das dritte Symposium mit der Schwerpunktfrage geschlechtsspezifischer Unterschiede gegenüber genotoxischer Agenzien wurde aus verschiedenen Blickwinkeln beleuchtet, angefangen mit der genetischen Prägung der Expression von nicht-kodierenden Makro-RNAs (Denise Barlow), über Auswirkungen von Polymorphismen in Kandidatengenomen auf das Krebsrisiko (Janet Hall), geschlechtsspezifische Aspekte der individuellen Strahlenempfindlichkeit (Kerstin Borgmann), Geschlecht und Tumorthherapie aus klinischer Sicht (Ulrike Höller), Proteom-Analysen im Hinblick auf strahleninduzierte kardiovaskuläre Erkrankungen (Soile Tapio), sowie oxidativer Stress kardialer Mitochondrien nach Bestrahlung mit niedriger Dosis (Dominik Schmaltz).

Das Symposium wurde abgeschlossen durch einen Vortrag von Friederike Eckardt-Schupp, die einen historischen Überblick über bedeutsame Wissenschaftlerinnen für die Strahlenforschung gab, angefangen von Marie Curie über ihre Tochter Irene Joliot-Curie, Maria Goeppert-Mayer, Charlotte Auerbach, Paula Hertwig, Emmy Stein, Rosalin Franklin, Lise Meitner, Alma Howard, Evelyn Witkin, Ruth Hill und Tikvah Alper.

Das abschließende Symposium fasste moderne Ansätze im Rahmen der strahlenbiologischen Forschung zusammen, die einen Ausblick auf zukunftsweisende Projekte geben sollten. Es wurde eröffnet durch Vorstellung von Daten, welche die Rekrutierung von DNA-Proteinen an durch den Ionen-Mikrostrahl (SNAKE) erzeugten DNA-Doppelstrangbrüchen untersuchten (Anna Friedl), gefolgt von der Bedeutung von artifiziell modifiziertem Chromatin auf die Reparatur von DNA-Doppelstrangbrüchen (Belinda Mazurek), der Bedeutung gehäuft auftretender DNA-Doppelstrangbrüche (Gisela Taucher-Scholz), die sicherlich wegweisenden Veränderungen in der Radiotherapie, die unter den Begriffen IMRT/IGRT oder adaptive Strahlentherapie zusammengefasst werden können (Barbara Röper), gefolgt von der Bedeutung der UV-Strahlung für epidermale Stammzellen beim Melanom (Beate Volkmer), das Differenzierungs- und Apoptosemuster von hämatopoetischen Stamm- und Progenitorzellen nach Bestrahlung (Claudia Fournier), sowie der Modulation der Expression von Mikro-RNAs nach ionisierender Bestrahlung (Simone Mörtl).

5. ERGEBNISSE

Das Schwerpunktthema war die Bedeutung geschlechtsspezifischer Unterschiede in der zellulären Reaktion auf Bestrahlung sowie andere genotoxische Agenzien. Die eingeladenen Sprecherinnen aus Europa und den USA diskutierten erstmalig vorliegende Erkenntnisse aus den Gebieten Reparatur von DNA-Schäden, Bedeutung erblicher genetischer Veränderungen, schadensinduzierte Signalkaskaden, Zellzyklus und Apoptose, sowie neue zukunftsweisende Ansätze hinsichtlich dieses speziellen Aspekts der Strahlenreaktion. Tatsächlich scheint es bei genauer Betrachtung deutliche geschlechtsspezifische Unterschiede in der Reaktion auf Bestrahlung zu geben, doch wurden bis heute keine entsprechend auf diesen Aspekt ausgerichtete Studien durchgeführt, so dass die Datenlage keine abschließende Bewertung erlaubt. Da insbesondere bei der Behandlung von Tumorerkrankungen eine Individualisierung der Therapie immer mehr in den Vordergrund rückt, besteht bezüglich der Aufklärung geschlechtsspezifischer Unterschiede in der Strahlenreaktion ein hohes allgemeines Interesse.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

In dem Workshop wurde der Stand von Wissenschaft und Technik in der molekularen und klinischen Strahlenforschung dargestellt. Besonders im Hinblick auf die Entwicklung von Forschungsvorhaben in der Ressortforschung zu den Themen individuelle Strahlenempfindlichkeit, Niedrig-Dosis-Bereich und Biomarker, sowie besonders zu dem Schwerpunktthema „Geschlechtsspezifische Unterschiede in der zellulären Reaktion auf Bestrahlung“ bot der Workshop wertvolle Diskussionen und neue Erkenntnisse.

Thema Epidemiologische Qualitätsprüfung zum Vorhaben St.Sch. 4493 (Epidemiologische Studie zu angeborenen Fehlbildungen in der Umgebung deutscher Leistungsreaktoren)			
Subject <i>Epidemiological evaluation of St.Sch. 4493 (Epidemiological study on congenital malformations in the vicinity of nuclear power plants in Germany)</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3608S03021	Beginn 01.12.2008	Ende 31.07.2009	Fördermittel EUR 4.963,-
Forschungs- / Auftragnehmer Dr. Iris Zöllner, Stuttgart			
Projektleitung Dr. I. Zöllner	Fachbetreuung BfS Dr. B. Grosche / AG-SG 1.4		verantwortlich für den Text Dr. B. Grosche

1. ZIELSETZUNG

Für die „Epidemiologische Studie zu angeborenen Fehlbildungen in der Umgebung deutscher Leistungsreaktoren“ (StSch. 4493), die im Programmreport 2008 beschrieben wurde, war eine epidemiologische Qualitätsprüfung durchzuführen.

Die Studie StSch. 4493 selbst kam zu folgenden Ergebnissen:

- Es wurde ein möglicher teratogener Effekt im 10 km-Umkreis zweier Leistungsreaktoren im Vergleich mit einer kernkraftwerksfreien Region untersucht. Bei der Durchführung der Kohortenstudie wurde eine standardisierte Erfassung durchgeführt. Systematische Fehler wurden nicht ermittelt. Die Daten sind bezüglich Vollständigkeit und Vollständigkeit intern validiert und erfüllen auch Kriterien einer externen Validierung.
- Die Fehlbildungsprävalenz in der Umgebung der Reaktoren ist im Vergleich zur Vergleichsregion nicht erhöht. Diese Aussage besteht auch bei Adjustierung für relevante individuelle Confounder. Es gibt innerhalb der Studienregion keinen negativen Abstandstrend der Fehlbildungsprävalenz zum nächstgelegenen Leistungsreaktor. Diese Aussage besteht auch bei Adjustierung für relevante individuelle Confounder.
- Von wissenschaftlichem und gesundheitspolitischem Interesse ist der explorativ beobachtete Zusammenhang zwischen einer mütterlichen beruflichen Strahlenexposition in der Frühschwangerschaft und dem vermehrten Auftreten großer Fehlbildungen beim Kind.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Aufgaben der Qualitätsprüfung umfassten die Beantwortung folgender Fragen:

1. Ist der Analyseplan der Fragestellung des Vorhabens angemessen?
2. Ist die Aufbereitung der Daten dem Analyseplan angemessen?
3. Sind die verwendeten Analyseprogramme dem Analyseplan angemessen?
4. Sind die gewonnenen Ergebnisse statistisch-analytisch plausibel?
5. Entsprechen die gezogenen Schlussfolgerungen den Ergebnissen?

Bei evtl. unklarer Situation bzgl. der Programme oder der Analyseergebnisse war mit dem Forschungsnehmer (FN) des Vorhabens StSch. 3605S04493 eine Begehung vor Ort zu vereinbaren und ggf. eine Überprüfung der Berechnungen durchzuführen.

3. METHODIK

Entsprechend der Aufgabenstellung wurde der Abschlussbericht zunächst kritisch durchgelesen. Es fand ferner ein Audit beim FN der Fehlbildungsstudie statt, um offene Fragen zu klären.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung fand entsprechend dem unter 3. geschilderten Vorgehen statt.

5. ERGEBNISSE

Zu den einzelnen Fragen wurden folgende Ergebnisse erzielt:

5.1 IST DER ANALYSEPLAN DER FRAGESTELLUNG DES VORHABENS ANGEMESSEN?

Der Analyseplan ist den Fragestellungen der Studie entsprechend aufgebaut und in angemessener Weise darauf zugeschnitten. Vor dem Hintergrund der in Deutschland geführten öffentlichen Diskussion zu möglichen Gesundheitsrisiken in der Umgebung von Kernkraftwerken ist es verständlich, wenn die Autoren der Studie auch bei fehlenden Hinweisen auf eine erhöhte Fehlbildungsrate im 10 km-Umkreis die Abstandsabhängigkeit des Risikos mit mehreren Modellierungsverfahren prüfen.

5.2 IST DIE AUFBEREITUNG DER DATEN DEM ANALYSEPLAN ANGEMESSEN?

Die Aufbereitung der Daten und der Analyseplan sind aufeinander abgestimmt und in diesem Sinne angemessen. Die Durchführung der Datenerhebung und die Bewertung und Kodierung der Daten verdienen großen Respekt in Bezug auf Sorgfalt, Professionalität, Datenqualität und -vollständigkeit.

5.3 SIND DIE VERWENDETEN ANALYSEPROGRAMME DEM ANALYSEPLAN ANGEMESSEN?

Bzgl. der im Bericht aufgeführten Programme aus dem SAS-Statistikprogrammpaket kann die Frage mit „ja“ beantwortet werden.

5.4 SIND DIE GEWONNENEN ERGEBNISSE STATISTISCH-ANALYTISCH PLAUSIBEL?

Die im Rahmen der Studie gefundenen Ergebnisse sind - insgesamt und im Detail - schlüssig und in sich konsistent, d. h. frei von logischen Widersprüchen.

5.5 ENTSPRECHEN DIE GEZOGENEN SCHLUSSFOLGERUNGEN DEN ERGEBNISSEN?

Die Autoren geben einen guten Überblick über bisher veröffentlichte Studien mit ähnlichen Fragestellungen und bewerten den Stand der Forschung mit der gebotenen Sorgfalt. Bei der tabellarischen Übersicht wäre allerdings wünschenswert gewesen, auch die Studien mit anzuführen, die keinen Zusammenhang zwischen ionisierender Strahlung und Fehlbildungen gefunden haben.

Die Stärken und Schwächen der Studie sind zutreffend beschrieben. Insgesamt sind sämtliche Schlussfolgerungen der Autoren auf die gefundenen Ergebnisse und deren fachlich kompetente Bewertung gestützt.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die durchgeführte epidemiologische Qualitätsprüfung zeigt, dass die in dem Vorhaben StSch 4493 gefundenen Ergebnisse und deren Interpretation korrekt sind. Entsprechend ergibt sich für das BfS die Notwendigkeit, der Frage weiter nachzugehen, inwieweit der beschriebene Zusammenhang zwischen der Häufigkeit angeborener Fehlbildungen und der Tatsache, dass die Mütter in einem Bereich der beruflichen Strahlenschutzüberwachung tätig waren, ein Zufallsbefund ist oder nicht. Dazu soll im Jahre 2010 ein entsprechendes Vorhaben vergeben werden.

Thema			
Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Einrichtungen und Anlagen nach AtG, StrlSchV und RöV unter dem Gesichtspunkt der Optimierung			
Subject			
<i>Update and evaluation of task-related exposure in facilities according to AtG, StrlSchV and RöV in consideration of optimization</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3607S04513	Beginn 25.01.2007	Ende 30.09.2009	Fördermittel EUR 328.540,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln			
Projektleitung Dr. J. Kaulard	Fachbetreuung BfS Dr. G. Frasch / AG-SG 2.3	verantwortlich für den Text Dr. J. Kaulard	

1. ZIELSETZUNG

Zur Fortentwicklung und Optimierung des Strahlenschutzes der in kerntechnischen Anlagen im Betrieb oder bei Arbeiten zur Stilllegung tätigen beruflich strahlenexponierten Personen ist eine detaillierte Kenntnis der Ursachen der Strahlenexposition des Personals unabdingbare Voraussetzung. Dazu sind insbesondere Analysen der in der Revision bzw. den einzelnen Stilllegungsabschnitten durchgeführten Arbeiten erforderlich, um die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Einflussfaktoren, z. B. den durchgeführten Arbeiten, der Anlagenauslegung und der Arbeitsplanung, zu identifizieren und Verbesserungsmöglichkeiten zu untersuchen, die zu einer weiteren Reduktion der Exposition im Sinne einer Optimierung beitragen können.

Zu berücksichtigen sind bei Untersuchungen zur Fortentwicklung nicht nur die die Exposition verursachenden Strahlenquellen, sondern auch die Durchführung der im Kontrollbereich anfallenden Arbeiten. Dabei sind Teilaspekte der durchgeführten Tätigkeiten in die Betrachtungen einzubeziehen, wenn Aussagen für Verbesserungen mit dem Ziel der Dosisreduktion abgeleitet werden sollen. Hierzu gehören beispielsweise ergriffene Schutzmaßnahmen unterschiedlicher Art, aber auch die Arbeitsorganisation und weitergehende Informationen, z. B. bezüglich der Auslegung der Anlage oder der bei den Arbeiten verwendeten Technologien. Wesentlich ist in diesem Zusammenhang nicht nur die Untersuchung der Einzeltätigkeiten in den Anlagen, sondern auch die Übersicht über ggf. unterschiedliche Praktiken auf Grund der vorherrschenden Randbedingungen in den einzelnen Anlagen, um auch den Informationstransfer zwischen den Anlagen über das bisherige bereits bestehende Maß zu intensivieren.

Im Rahmen dieses Vorhabens waren Daten zur Strahlenexposition des Personals der in Betrieb bzw. Stilllegung befindlichen kerntechnischen Anlagen zu sammeln und aufzubereiten, die eine Grundlage für die Dokumentation und Beurteilung der Strahlenexposition des Betriebspersonals von kerntechnischen Anlagen bilden. Ebenfalls waren Daten zur beruflichen Strahlenexposition in Anlagen des Brennstoffkreislaufes zu erfassen und die in früheren Vorhaben begonnenen Datenreihen zu vervollständigen und insgesamt zu dokumentieren. Auf der Grundlage einer Analyse der gesammelten Daten waren schließlich Vorschläge zur Optimierung der Arbeitseinsätze und verwendeten Arbeitsmittel insbesondere bei wiederkehrenden Prüfungen und bei typischen Arbeitsschritten in der Kerntechnik zu erarbeiten. Darüber hinaus wurde im Rahmen des Vorhabens am internationalen Erfahrungsaustausch, schwerpunktmäßig im Information System on Occupational Exposure (ISOE) der OECD-NEA (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung - Nuclear Energy Agency), teilgenommen, um internationale Erfahrungen in den gegenseitigen Erfahrungsaustausch einzubringen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die übergeordnete Zielsetzung des Vorhabens wurde durch die Bearbeitung der nachstehenden, miteinander verknüpften vier Einzelziele umgesetzt.

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

In den kerntechnischen Anlagen Deutschlands waren die während des Betriebs, der Revision sowie die bei den einzelnen Stilllegungsabschnitten durchgeführten Tätigkeiten in den Jahren 2006 und 2007 sowie die damit einhergehenden Strahlenexpositionen zu erheben und zu analysieren. In die Analyse waren schwerpunktmäßig Leistungskernkraftwerke, Anlagen in der Stilllegung sowie Anlagen des Brennstoffkreislaufs und standortnahe Bereitstellungs- und Zwischenlager einzubeziehen. Die zu erhebenden Daten stammten aus der betrieblichen Dosimetrie der Anlagen und wiesen eine Detailtiefe auf, die erheblich über die verfügbaren Daten der amtlichen Messstellen und des Strahlenschutzregisters im Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hinausgeht.

2.2 ANALYSE TÄTIGKEITSBEZOGENER EXPOSITIONSDATEN

Anhand der Daten waren die Zusammenhänge zwischen der Strahlenexposition und den diese beeinflussenden Faktoren, wie z. B. Auslegung der Anlage, Arbeitsplanung und Arbeitsdurchführung zu untersuchen und die Möglichkeiten der Reduktion der Strahlenexposition darzustellen. Schwerpunkt der Analyse bildeten die zu verrichtenden Tätigkeiten und die ergriffenen technischen und arbeitsorganisatorischen Schutzmaßnahmen. Zu berücksichtigen waren nicht nur die eine Exposition verursachenden Strahlenquellen, sondern auch die Art und Durchführung der im Kontrollbereich anfallenden Arbeiten. Hierbei waren Teilaspekte von durchgeführten Tätigkeiten in die Analyse einzubeziehen, wenn diese Aussagen über Optimierungsmöglichkeiten des Strahlenschutzes oder eine Dosisreduktion erlaubten.

2.3 VERGLEICH DER ERGEBNISSE AUF NATIONALER UND INTERNATIONALER EBENE

Die Ergebnisse sollten mit den Expositionsdaten der Vorläuferstudien in zeitlicher Kontinuität stehen und vergleichbar sein. Ebenso war deren Vergleichbarkeit auf nationaler und internationaler Ebene (OECD/EU) sicherzustellen. Hierzu wird eine international einheitliche Charakterisierung der kerntechnischen Tätigkeitsbereiche (ISOE) angewendet. Da im Bereich der stillgelegten Anlagen diese noch nicht vorhanden war, wurde die Einführung einer solchen Charakterisierung auf internationaler Ebene durch eine aktive Mitarbeit in den Gremien der verantwortlichen OECD-NEA unterstützt.

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

Auf der Basis der erhobenen Daten waren Vorschläge zur Optimierung der Arbeitseinsätze und der Arbeitsmittel, z. B. bei wiederkehrenden Prüfungen und bei typischen Arbeitsschritten der Stilllegung, zu erarbeiten. Sofern als Folge der Liberalisierung des Energiemarktes Auswirkungen auf die Organisation des Strahlenschutzes, die Exposition des Personals oder die Kompetenz des eingesetzten Personals zu erkennen waren, wurden diese Folgen dargestellt.

3. METHODIK

Bei der Durchführung des Vorhabens wurden im Detail die in den Anlagen anfallenden Expositionen des Eigen- und Fremdpersonals unter Berücksichtigung der angefallenen Arbeiten und der jeweiligen Betriebszustände betrachtet, systematisch zusammengefasst und analysiert. Insbesondere wurden hierbei wichtige Tätigkeitsschwerpunkte, die in mehreren Anlagen auftreten, oder auch häufiger wiederkehrende Tätigkeiten, wie z. B. wiederkehrende Prüfungen oder Arbeiten zur Brennelement (BE)-Handhabung und BE-Lagerung / Zwischenlagerung berücksichtigt.

Für die abgeschalteten bzw. in der Stilllegung befindlichen Anlagen wurden analog durchgeführte Untersuchungen zu tätigkeitsbezogenen Expositionen aus der Nachbetriebsphase dazu genutzt, Arbeitsschritte in diesem Bereich unter Strahlenschutz-Gesichtspunkten zu untersuchen und Vorschläge zur Optimierung abzuleiten. In diesem Bereich sind in den letzten Jahren neben den laufenden Stilllegungsverfahren kleinerer Anlagen mehrere Stilllegungsprojekte für Leistungsreaktoren begonnen worden. Wichtig ist hierbei, diese begonnenen bzw. aktuell angelaufenen Stilllegungsarbeiten bei den größeren Leistungsreaktoren zur Ableitung und Dokumentation entsprechender Erfahrungen weiterhin zu verfolgen.

Im Hinblick auf eine Auswertung des Erfahrungsrückflusses aus dem Ausland wurde ein intensiver Kontakt, Erfahrungs- und Datenaustausch auf internationaler, insbesondere europäischer Ebene gepflegt. Wichtig ist

dieses Vorgehen einerseits im Hinblick auf den europäischen Markt sowie die Ost-Erweiterung, die Rückwirkungen auf den Personaleinsatz (Fremdpersonal) haben; andererseits werden die Ergebnisse des Erfahrungsaustauschs in die Bewertung der internationalen Strahlenschutzpraxis einfließen und Erfahrungen aus der deutschen Praxis in die Arbeit internationaler Organisationen eingebracht.

4. DURCHFÜHRUNG

In den kerntechnischen Anlagen wurden die Expositionsdaten eines Kalenderjahres jeweils im Folgejahr entsprechend der gewählten Methodik erhoben. Eingesetzt wurde dabei die Datenerfassungssoftware des „Information System on Occupational Exposure (ISOE)“ der OECD. Eine zusätzliche separate Datenerfassung erfolgte in einzelnen Fällen, insbesondere für die in Stilllegung befindlichen Anlagen zur Ergänzung der Datensätze auf der Grundlage der Betriebsberichte der Anlagen sowie für alle betrachteten Anlagen der Ver- und Entsorgung.

Die aufbereiteten Daten liegen in der Datenbank als langjährige Zeitreihen nunmehr bis einschließlich 2007 vor. Die Auswertung der Datenbank erfolgte gemäß den spezifischen Fragestellungen des Vorhabens.

Für die Anlagen der Ver- und Entsorgung, die stillgelegten sowie die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke wurden Übersichtsberichte über die Strahlenexpositionen und Tätigkeiten in den Jahren 2005 und 2006 in der jeweiligen Endfassung erstellt. Die in Zusammenarbeit mit den Anlagen qualitätsgesicherten Jahresberichte für 2005 und 2006 wurden fertig gestellt. Berichte, die Daten des Jahres 2007 enthalten, liegen als Entwurf vor, da die Daten des Jahres 2007 erst zu einem Zeitpunkt verfügbar waren, der eine Endredaktion des Übersichtsberichtes sowie der tätigkeitsspezifischen Jahresberichte in Kernkraftwerken in Betrieb und in Stilllegung nicht mehr ermöglichte.

Im Rahmen des internationalen Erfahrungsaustausches wurde an den regelmäßigen Hauptsitzungen des ISOE sowie der zugehörigen Working Group on Data Analysis (WGDA) teilgenommen. Ebenso wurden Arbeiten zur Konzeption einer neuen Datenerfassungssoftware, die auf die Besonderheiten von Kernkraftwerken in Stilllegung ausgerichtet werden soll, unterstützt.

5. ERGEBNISSE

Die Übersichten der letzten Jahre zeigen, dass im Zeitraum 2006 bis 2007 in den in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken die Exposition des Personals im Wesentlichen konstant gehalten werden konnte. Bedingt durch jährlich unterschiedliche Tätigkeitsumfänge in den einzelnen Revisionen schwankt die Jahreskollektivdosis von Jahr zu Jahr.

Im Vergleich der beiden Jahre 2006 und 2007 ist zu beachten, dass in 2006 zwei Druckwasserreaktoren (DWR) der 2. Generation revisionsfrei waren. Demgegenüber waren in 2007 zwei DWR fast ganzjährig und zwei Siedewasserreaktoren (SWR) jeweils halbjährig infolge zusätzlicher Prüfungen außer Betrieb. Darüber hinaus wurden in 2007 in einem DWR die Prüfungen an allen vier Dampferzeugern durchgeführt mit entsprechenden Beiträgen zur Gesamt-Jahreskollektivdosis aller Kernkraftwerke. Insgesamt liegen die durchschnittlichen Jahreskollektivdosen in 2006 und 2007, gemittelt über alle Kernkraftwerke eines Anlagentyps, für DWR bei 0,84 Pers.Sv/a und 1,04 Pers.Sv/a und für SWR bei 1,14 Pers.Sv/a und 1,00 Pers.Sv/a.

Die mittlere Personendosis für Tätigkeiten des Personals im Kontrollbereich liegt mit Werten in 2007 von 0,24 mSv/a (Eigen-) und 0,62 mSv (Fremdpersonal) für DWR und 0,74 mSv/a (Eigen-) und 0,63 mSv (Fremdpersonal) bei SWR wie auch in den letzten Jahren in der Regel unter 1 mSv/a, wobei allerdings darauf hinzuweisen ist, dass es sich bei der Dosis des Fremdpersonals um die anlagenbezogene Dosis, d. h. die Exposition in einem einzelnen Kernkraftwerk, handelt. Insgesamt ist seit 1990 ein sinkender Trend in den mittleren Personendosen zu beobachten, dem in einzelnen Jahren ein Anstieg gegenüber dem jeweiligen Vorjahr überlagert ist. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass die in früheren Jahren zu beobachtende Reduktion des Eigen- und des Fremdpersonals nicht zu einem erkennbaren Anstieg der mittleren Personendosis geführt hat. In den letzten Jahren liegt die Zahl des eingesetzten Eigenpersonals bei einem Wert von etwa 3700 Personen für DWR und etwa 2000 Personen für SWR, mit leichten Schwankungen von Jahr zu Jahr. Die Zahl des eingesetzten Fremdpersonals schwankt demgegenüber stärker, bedingt durch den Umfang der jeweiligen Revision in den einzelnen Kernkraftwerken.

Abbildungen 1 und 2 zeigen die Strahlenexposition in deutschen Kernkraftwerken im internationalen Vergleich für ausgewählte Länder am Beispiel der durchschnittlichen Jahreskollektivdosis eines Kernkraftwerkes eines Reaktortyps. Auf Grund der großen Bandbreite der Jahreskollektivdosisbeiträge der verschiedenen

(auslegungsbedingten) DWR-Generationen und hierbei der Dominanz der auslegungsbedingten höheren Jahreskollektivdosisbeiträge einzelner älterer Kernkraftwerke liegen bei den deutschen DWR die mittleren Jahreskollektivdosen im oberen Bereich der internationalen Bandbreite.

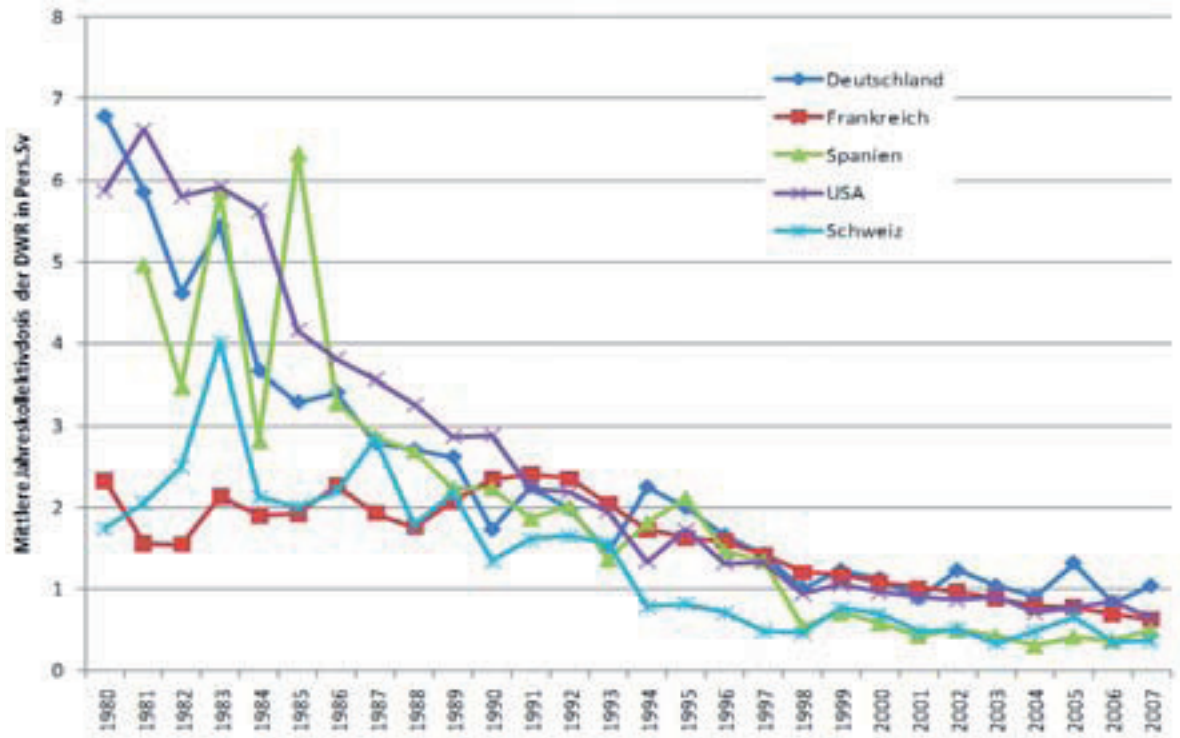


Abbildung 1:
Durchschnittliche Jahreskollektivdosis von in Betrieb befindlichen deutschen Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktor im internationalen Vergleich für die Jahre 1980 bis 2007

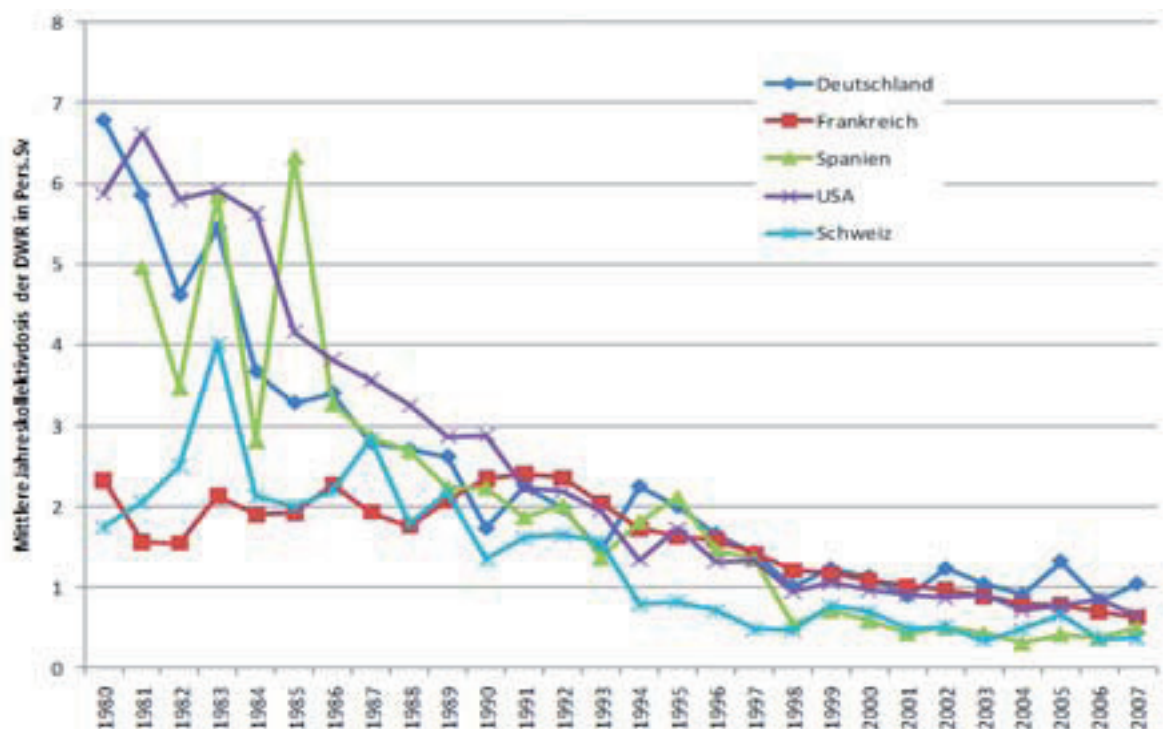


Abbildung 2:
Durchschnittliche Jahreskollektivdosis von in Betrieb befindlichen deutschen Kernkraftwerken mit Siedewasserreaktor im internationalen Vergleich für die Jahre 1980 bis 2007

Bei den homogenen Jahreskollektivdosen der deutschen SWR, die im Niveau etwa der 2. und 3. Generation der DWR entsprechen, stellt sich das Bild in den letzten Jahren günstiger dar: die durchschnittlichen Jahreskollektivdosen der SWR liegen hier im unteren Drittel. Der deutliche Anstieg für die SWR in den frühen Jahren zwischen 1981 und 1983 ist dabei auf die Durchführung von umfangreichen Nachrüst- und Ertüchtigungsmaßnahmen zurückzuführen, die seinerzeit durch die Reaktor-Sicherheitskommission empfohlen wurden (s. Abbildung 2).

Die Übersicht der letzten Jahre für die Expositionen in stillgelegten Kernkraftwerken (Abbildung 3) zeigt, dass diese gegenüber den in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken in der Regel wesentlich niedriger liegen. Zu beachten ist hierbei, dass die Abbildung die Gesamt-Jahreskollektivdosis aller in Stilllegung befindlichen Kernkraftwerke wiedergibt und nicht - wie bei den Abbildungen 1 und 2 - die über die jeweiligen Kernkraftwerke eines Reaktortyps gemittelte durchschnittliche Jahreskollektivdosis je Kernkraftwerk. Ein solcher durchschnittlicher Wert beträgt im Jahr 2007 etwa 0,15 Pers.Sv/a für die 17 in Stilllegung befindlichen Kernkraftwerke an 13 Standorten. Der Wert liegt damit etwa um eine Größenordnung niedriger als derjenige für Kernkraftwerke in Betrieb. Zu beachten ist hierbei allerdings, dass der Unterschied stark vom jährlichen Umfang der einzelnen Stilllegungstätigkeiten wie auch vom Typ der Kernkraftwerke in Stilllegung wie auch in Betrieb abhängt.

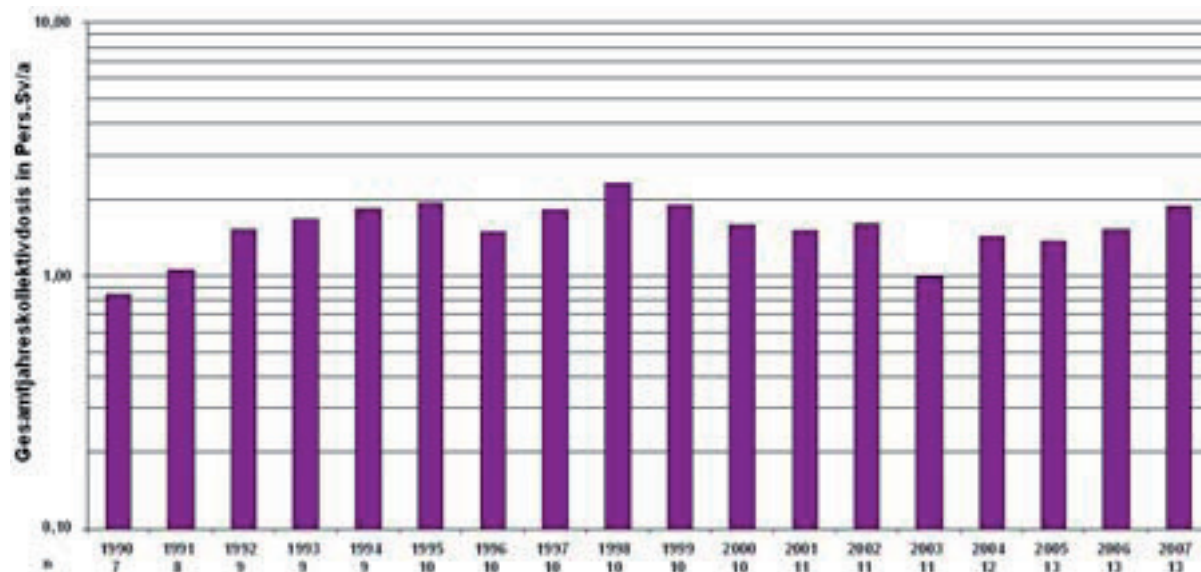


Abbildung 3:
Gesamt-Jahreskollektivdosen der in Stilllegung befindlichen deutschen Kernkraftwerke und Anzahl der betroffenen Standorte für die Jahre 1990 bis 2007

Auf der Grundlage der von den Betreibern bereitgestellten Daten zur Strahlenexposition in Anlagen des Brennstoffkreislaufes gibt der vorliegende Bericht einen Überblick über die Strahlenexposition des Personals insbesondere der Jahre 2006 und 2007. Für die in Betrieb befindlichen Anlagen liegt die Jahreskollektivdosis in 2006 und 2007 deutlich unterhalb von 50 Pers.mSv. Für die in Stilllegung befindlichen Anlagen liegt die Jahreskollektivdosis in beiden Jahren deutlich unterhalb von etwa 5 Pers.mSv. Anzumerken ist hierbei, dass in 2005 expositionsrelevante Arbeiten in zwei in Stilllegung befindlichen Anlagen abgeschlossen werden konnten, weshalb aus diesen Anlagen keine Dosisbeiträge, die in früheren Jahren einen großen Einfluss auf die Gesamt-Jahreskollektivdosis der betrachteten Anlagen des Brennstoffkreislaufs hatten, in 2006 und 2007 entstanden sind.

Die Auswertung der Expositionen bei der Durchführung von Tätigkeiten in Kernkraftwerken in Betrieb und in Stilllegung liefert Einblicke in die Belastung wesentlicher Tätigkeitsgruppen. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in zwei gesonderten Berichten dokumentiert. Beispielhaft gibt Abbildung 4 die Situation für einen in Betrieb befindlichen DWR der 3. Generation sowie für ein in Stilllegung befindliches Kernkraftwerk für das Jahr 2007 wieder.

Zu erkennen sind die deutlichen Verschiebungen vom Betrieb hin zur Stilllegung in den Tätigkeitsgruppen. Während in den in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken die Maschinen-Technik den höchsten Einzelbeitrag zur Jahreskollektivdosis liefert, ist dies für das in Stilllegung befindliche Kernkraftwerk die Tätigkeitsgruppe der Reinigung, Dekontamination und Abfallbehandlung. Die Beispiele der Abbildung 4 zeigen darüber hinaus, dass für verschiedene Tätigkeitsgruppen, für die beim Betrieb einer Anlage relevante Dosen ermittelt werden, in der Stilllegung - abhängig vom Fortschritt der Stilllegungsarbeiten - geringe oder gar keine Dosen mehr anfallen.

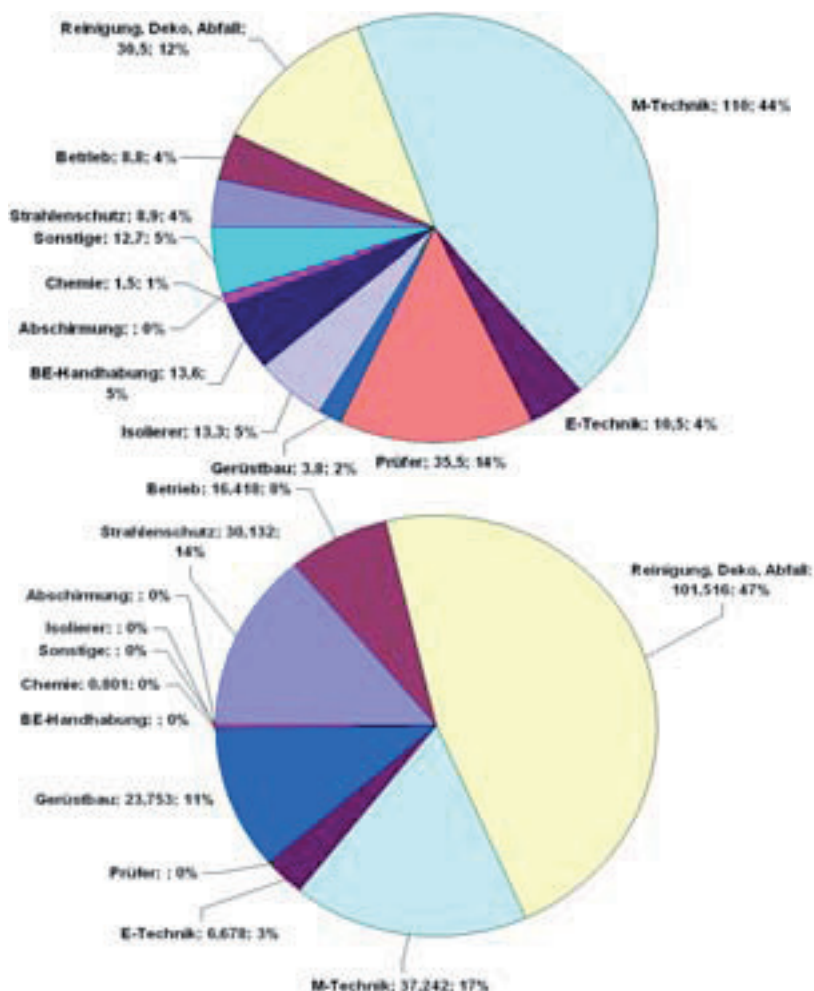


Abbildung 4:
Aufteilung der Jahreskollektivdosis 2007 auf Tätigkeitsgruppen (Angaben in Pers.mSv und Prozent)
oben: in Betrieb befindlicher DWR der 3. Generation
unten: in Stilllegung befindliches Kernkraftwerk

Generell geht der Personaleinsatz in den Kernkraftwerken während der Stilllegung zurück; im Gegensatz zu den Revisionen, in denen kurzfristig große Personenzahlen eingesetzt werden müssen, verteilt sich der Personaleinsatz über das gesamte Jahr, wobei häufig Fremdfirmen in größerem Umfang - häufig auch über längere Zeiträume - eingesetzt werden. Für bestimmte Arbeiten, z. B. Abfallbehandlung bzw. -konditionierung, werden ggf. zeitlich begrenzte Kampagnen durch Fremdfirmen durchgeführt.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die im Rahmen des Vorhabens erarbeiteten Zeitreihen über die tätigkeitsbezogene Exposition in den in Betrieb befindlichen bzw. stillgelegten kerntechnischen Anlagen beruhen auf Expositionsdaten der betrieblichen Dosimetrie der Anlagen. Die erstellten Zeitreihen und zugehörigen Auswertungen bilden für das BMU die Grundlage für eine Beweissicherung über die anlagenspezifische Strahlenexposition und dienen der Unterstützung der Zweckmäßigkeitsaufsicht.

Die tätigkeitsspezifischen Analysen ermöglichen in Verbindung mit ergänzenden betrieblichen Informationen die Identifikation dosisintensiver Tätigkeiten. In Verbindung mit den für eine Reihe von Anlagen verfügbaren Angaben über die Dauer von Tätigkeiten bieten sie die Möglichkeit im Sinne der Strahlenexposition ungünstige Arbeitsbedingungen identifizieren zu können. Zusätzlich ermöglichen die Daten Analysen, wie z. B. die anhaltende Liberalisierung des Strommarktes, der Arbeitsumfang oder die Arbeitsplanung des Personaleinsatzes, die die Strahlenexposition in den Kraftwerken beeinflussen. Die gewonnenen Erfahrungen werden kontinuierlich zur Unterstützung des BMU im Rahmen seiner Zweckmäßigkeitsaufsicht, seiner Arbeiten zum Kompetenzerhalt in Behörden, aber auch zur Optimierung auf Betreiberebene eingesetzt.

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 für die Beantwortung aktuell auftretender Fragen bei der Ausübung der Zweckmäßigkeitsaufsicht genutzt werden.

Thema Erarbeitung von praktischen Vorgaben zur Probennahme und Probenaufbereitung von überwachungsbedürftigen Rückständen gemäß StrlSchV, Anlage XII (zu §§ 97 bis 102), und von Baustoffen			
Subject <i>Work out of practical guidelines for sample taking and preparation of residues requiring control according to the German Radiation Protection Ordinance, §§ 97 to 102, Appendix XII, and of building materials</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3608S04573	Beginn 01.03.2008	Ende 31.08.2009	Fördermittel EUR 87.184.-
Forschungs- / Auftragnehmer TÜV Süd Industrie Service GmbH, München			
Projektleitung L. Hummel	Fachbetreuung BfS U.-K. Schkade / SW 1.3	verantwortlich für den Text L. Hummel, Dr. J. Döring, U.-K. Schkade	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens war die Erarbeitung von praktischen Vorgaben zur Probennahme und Probenaufbereitung für alle in der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen, Strahlenschutzverordnung (StrlSchV), Anlage XII, Teil A genannten Rückstände. Daraus abgeleitet werden später seitens der Leitstelle ENORM Empfehlungen für die vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) herausgegebenen Messanleitungen bereitgestellt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Nachstehende Aufgaben waren im Rahmen des Themas zu lösen:

1. Kritische Prüfung, inwieweit bestehende Probennahme- und Probenaufbereitungsvorschriften aus anderen sachbezogenen Themenfeldern für die Probennahme und Probenaufbereitung der Rückstände gemäß StrlSchV, Anlage XII, Teil A und Baustoffe, für die Ermittlung der natürlichen Radioaktivität geeignet sind;
2. Bei allen Rückständen gemäß StrlSchV, Anlage XII, Teil A und Baustoffen, bei denen bestehende Probennahme- und Probenaufbereitungsvorschriften nicht anwendbar sind, Erarbeitung von Empfehlungen für die Probennahme und Probenaufbereitung mit besonderem Augenmerk für mögliche Änderungen der Nuklidzusammensetzung und der Materialeigenschaften innerhalb einer größeren Materialcharge, sowie der benötigten Anzahl der Proben und der Positionierung von Probennahmestellen (z. B. innerhalb von Flächen);
3. Ableitung der Genauigkeit für die ermittelten Einsatzfälle; Fehlerbetrachtung; Qualitätssicherungsmaßnahmen; Aufzeigen der Güte und der Grenzen der Anwendbarkeit;
4. Kategorisierung der Prozesse und Materialien aus den Punkten 1) und 2) für einheitliche Herangehensweisen bei der Probennahme und Probenaufbereitung.

2.1 ANFORDERUNGEN AUS DER STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG

Der Umgang (Entstehungsprozess, Entsorgung, Verwertung) mit bestimmten industriellen Rückständen unterliegt seit Juli 2001 nicht mehr allein den Vorgaben des konventionellen Arbeitsschutz- und Abfallrechtes, sondern wird auch durch die novellierte StrlSchV geregelt. In diesem Zusammenhang wird von überwachungsbedürftigen Rückständen gesprochen. Die §§ 97 bis 102 der StrlSchV legen dar, welche Rückstände aus industriellen und bergbaulichen Prozessen in der Überwachung verbleiben müssen bzw. unter welchen technischen und radiologischen Randbedingungen eine Beseitigung oder Verwertung erfolgen kann.

2.2 FACHLICHE NOTWENDIGKEIT

Vor der Messung der spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide in Rückständen und in Baumaterial ist eine sach- und fachgerechte Probennahme und Probenaufbereitung unbedingte Voraussetzung, um repräsentative Messwerte zu erhalten. Derzeit wird die Probennahme und Probenaufbereitung auf Grund fehlender einheitlicher Vorgaben im Ermessen einzelner mit der Bestimmung von natürlichen Strahlern in Rückständen und Baustoffen beauftragter Laboratorien durchgeführt. Erfahrungen haben aber immer wieder gezeigt, dass die Repräsentativität und Reproduzierbarkeit von Messergebnissen in Umweltmedien gekoppelt ist an einheitliche Vorgaben zur Probennahme und Probenaufbereitung, wie sie seitens des BMU im Rahmen der Messanleitungen für andere Umweltmedien (z. B. Boden, Sediment, Wasser) bereits existieren.

3. METHODIK

Optimierte Verfahren zur sach- und fachgerechten Probennahme und Probenaufbereitung können nur entwickelt werden, wenn neben Fragen der Probenanzahl, der Repräsentativität der entnommenen Probe, der Relevanz oder der zu erwartenden Massen- und Stoffströme, auch die Eigenschaften (z. B. Nuklidvektoren) der Rückstände im Einzelnen betrachtet werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben wurde federführend von Sachverständigen der Abteilung „Radioaktivitätsmessung und Stilllegung“ der TÜV SÜD Industrie Service GmbH, die über langjährige Erfahrungen auf dem Gebiet der Planung, Durchführung und Beurteilung von Kernstrahlungsmessungen verfügen, durchgeführt. Die Bestimmung der Nuklidvektoren in ausgewählten Rückständen erfolgte in einem vom Deutschen Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH (DAP) akkreditierten Strahlenmesslabor. Die dabei eingesetzten Verfahren und Methoden entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik. Im Bereich der für Rückstände und Baustoffe spezifischen Fragestellungen wurde die Abteilung durch Sachverständige der Abteilung „Aktivitätsfluss und Radioökologie“ unterstützt.

Die Bearbeitung erfolgte auf der Basis eines im Qualitäts-Management(QM)-Handbuch der TÜV SÜD Industrie Service GmbH festgeschriebenen Qualitätssicherungssystems, das einer ständigen Aktualisierung unterliegt.

Zur Umsetzung des Vorhabens wurden fünf Arbeitspakete festgelegt.

- Arbeitspaket 1: Überprüfung bestehender Vorschriften aus der Umweltanalytik zur Probennahme Probenaufbereitung im Hinblick auf deren Anwendung auf Rückstände und Baustoffe;
- Arbeitspaket 2: Erarbeitung von Empfehlungen für Rückstände und Baustoffe, auf die die in Arbeitspaket 1 behandelten Vorschriften nicht bzw. nur modifiziert anwendbar sind;
- Arbeitspaket 3: Bewertung der in Arbeitspaket 1 und 2 ermittelten Einsatzfälle im Hinblick auf die Qualität der erzielbaren Ergebnisse;
- Arbeitspaket 4: Kategorisierung der Prozesse mit dem Ziel der Schaffung einheitlicher Vorgehensweisen bei der Entnahme und Aufbereitung von Proben aus Rückständen und Baustoffe;
- Arbeitspaket 5: Erstellung von Vorgaben zur Probennahme und Probenaufbereitung für die Messanleitungen des BMU.

5. ERGEBNISSE

Im Abschlussbericht wurden die Aspekte betrachtet, die in direktem Zusammenhang mit der Rückwirkung NORM-spezifischer Gesichtspunkte auf die Probennahme und die generellen Anforderungen an die gamma-spektrometrische Analyse der Proben im Labor sowie der Bewertung der dabei erzielten Ergebnisse stehen. Des Weiteren wurden verschiedene Algorithmen, die zur Berechnung der Messgröße (obere Grenze des Vertrauensbereiches, 95%-VG) und zum Vergleich mit den Überwachungsgrenzen herangezogen werden können, einer detaillierten Untersuchung unterzogen.

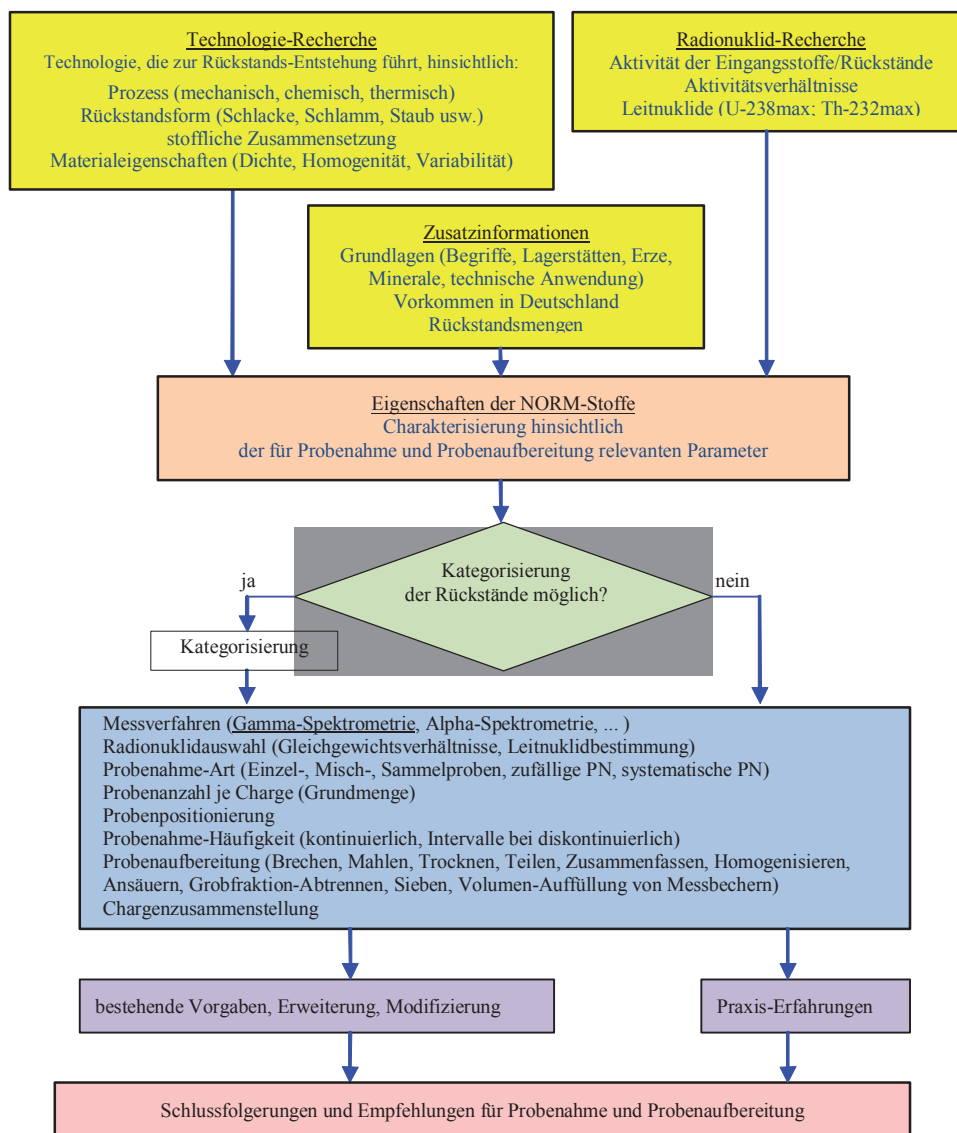


Abbildung 1:
Flussdiagramm zur konzeptionellen Vorgehensweise bei der Bewertung der
Überwachungsbedürftigkeit von Rückständen (zur Kategorisierung vgl. Punkt 3)

Die Ergebnisse in diesem Zusammenhang sind:

1. Zu den wesentlichen Gesichtspunkten der Probennahme selbst einschließlich der hierfür erforderlichen Geräte, der dabei zu erzielenden Probenmassen und der Dokumentation wesentlicher Eigenschaften des beprobten Materials ist die Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung / Beseitigung von Abfällen (LAG A PN 98) eine geeignete Arbeitsgrundlage. Die Probenaufbereitung ist jedoch stoff- bzw. projektspezifisch und wird durch für NORM nicht abgedeckt. Zum Stichprobenumfang können keine generalisierenden Aussagen getroffen werden. Die Hinweise in und sind hier nicht ausreichend. Es sind mindestens zehn Proben zu erzeugen. Am Beginn der Untersuchung einer Charge sollte die Beprobungsdichte erhöht sein und eine zeitnahe Anpassung des Probenumfangs an die Ergebnisse des Berechnungsalgorithmus erfolgen (vgl. Punkt 8.).

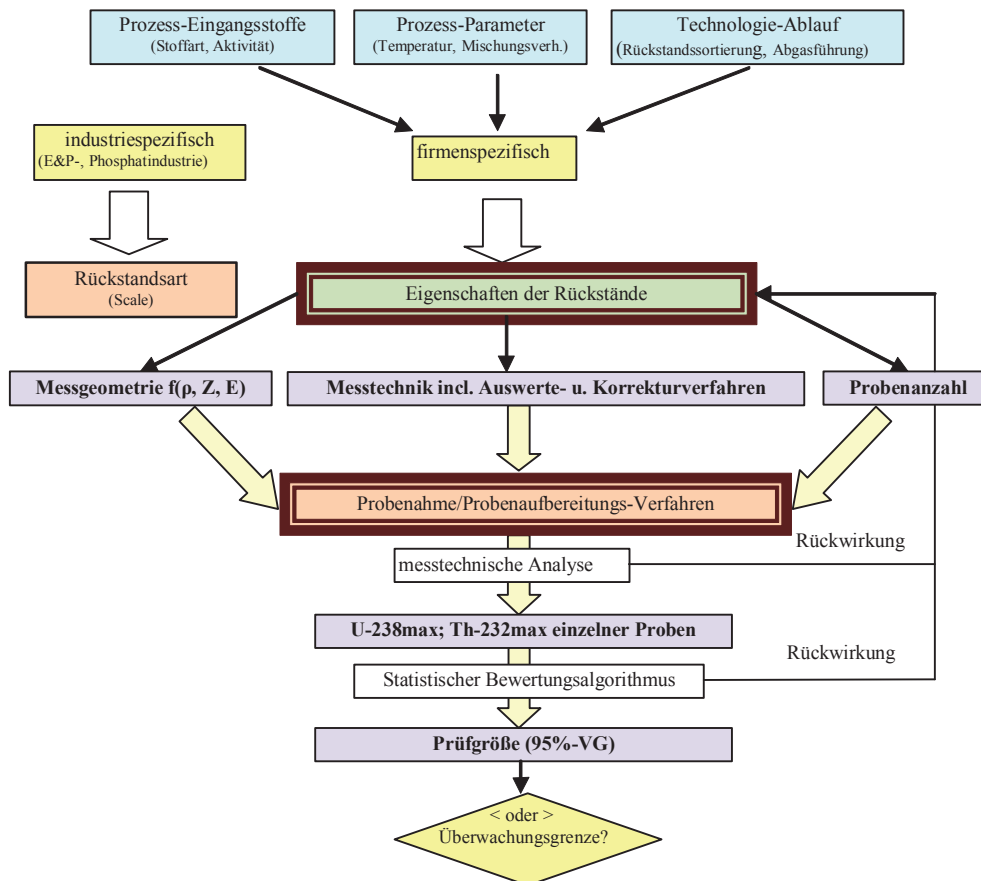


Abbildung 2:
Prinzipiskizze der Zusammenhänge und Abläufe bei der Bewertung von Rückständen gemäß Strahlenschutzverordnung

2. In vorliegendem Bericht wird die Aussagekraft von Ergebnissen, gemäß derer Rückstände als überwachungsbedürftig bzw. nicht überwachungsbedürftig eingestuft werden, insbesondere vor dem Hintergrund der bei der Laborauswertung auftretenden Messunsicherheiten (vgl. auch Punkt 5) und der verwendeten Berechnungsalgorithmen zur Bestimmung der 95%-VG (Verfahren nach SSK (Strahlenschutzkommission), bzw. „bootstrap“-Verfahren) betrachtet.
Es war zusammenfassend festzustellen, dass der Algorithmus zur Berechnung der 95%-VG_{SSK} kritisch zu bewerten ist. Neben der Tatsache keine Messunsicherheiten berücksichtigen zu können, ist das Versagen des Algorithmus bzw. Erzeugung unrealistisch hoher Ergebnisse bei Messwert-Kollektiven mit größeren Variationskoeffizienten als Nachteil zu werten. Mit der 95%-VG wird eine verlässliche, robuste Prüfgröße für ein Messwertkollektiv erzeugt, die eine verbesserte Entscheidung im Hinblick auf die Überwachungsbedürftigkeit von Rückständen gestattet.
Auf Grund der Unschärfe der radiologischen Modellierung der Überwachungsgrenzen und der systematischen Unsicherheiten, die grundsätzlich mit jeder Form der Probennahme einhergehen, erscheint es nicht zweckmäßig, besonders hohe Anforderungen an die Präzision der erzielten Ergebnisse zu stellen.
3. Die durchgeführte Kategorisierung (vgl. untenstehende Tabelle) der Rückstände entsprechend der zu unterstellenden Radionuklidgemische unter Berücksichtigung technologischer Prozesse, die ggf. mechanischer, thermischer oder chemischer Natur sind, kann - von Einzelfällen abgesehen - nicht als allgemeingültig aufgefasst werden, sondern dient nur als Orientierung, die jeweils in der praktischen Anwendung zu validieren ist. Im Anschluss daran können, soweit keine prozessrelevanten Parameter modifiziert werden, innerhalb der Routineüberwachung einzelner Stoffströme Vereinfachungen im Überwachungskonzept resultieren.

Kategorisierung der Rückstände

Materialtyp	Auftreten	Radionuklidgemisch	Leitnuklide
M1 Rohstoff	natürliche Gesteine u. Minerale, mechanisch aufbereitete Rohstoffe u. dabei anfallende Rückstände Bsp.: Nebengestein, Sande, Stäube	<u>U-Reihe</u> : weitestgehend GGW <u>Th-Reihe</u> : weitestgehend GGW <u>U-Reihe / Th-Reihe</u> : variabel <u>U-238 / U-235</u> : 21,7 <u>Ac-Reihe</u> : weitestgehend GGW	<u>U-238_{max}</u> : U-238, Th-230, Ra-226 <u>Th-232_{max}</u> : Th-232, Ra-228
M2 Ablagerung	Inkrustationen, Schlämme, Sedimente, die sich aus im Wasser gelösten Stoffen bilden Bsp.: Scales, Wasserwerkschlämme, Ablagerungen in Anlagen, Gewässersedimente, auch Radonfolgeproduktdepositionen	<u>U-Reihe</u> : kein GGW <u>Th-Reihe</u> : kein GGW Dominanz von Ra, U, Pb, sehr wenig Th; Töchter Th-228, Pb-210, Po-210 bauen sich altersbedingt auf <u>U-Reihe / Th-Reihe</u> : variabel, Ra-226 / Ra-228 altersabhängig <u>U-238 / U-235</u> : 21,7 <u>Ac-Reihe</u> : kein GGW	<u>U-238_{max}</u> : U-238, Ra-226, Pb-210 <u>Th-232_{max}</u> : Ra-228
M3 Extraktionsrückstand	Rückstände der chemischen Aufbereitung oder Weiterverarbeitung von Rohstoffen und Konzentraten Bsp.: Schlämme, Sande, Stäube, Tailings	<u>U-Reihe</u> : kein GGW hohe Variabilität <u>Th-Reihe</u> : kein GGW hohe Variabilität <u>U-Reihe / Th-Reihe</u> : variabel <u>U-238 / U-235</u> : 21,7 <u>Ac-Reihe</u> : kein GGW (U-235 tlw. abgereichert, Ac-227 tlw. erhöht)	<u>U-238_{max}</u> : U-238, Th-230, Ra-226, Pb-210, <u>Th-232_{max}</u> : Th-232, Ra-228, Th-228
M4 Schlacke	Rohstoffe, Konzentrate, Rückstände bei pyrometallurgischer/thermischer Verarbeitung Bsp.: gesinterte/gebrannte Minerale, hoch erhitzte Feuerfestprodukte, Schlacken, Grobaschen,	<u>U-Reihe</u> : U-238/ERa-226 GGW Pb-210 / Po-210 abgereichert <u>Th-Reihe</u> : weitestgehend GGW <u>U-Reihe / Th-Reihe</u> : variabel <u>U-238 / U-235</u> : 21,7 <u>Ac-Reihe</u> : weitestgehend GGW	<u>U-238_{max}</u> : U-238, Th-230, Ra-226 <u>Th-232_{max}</u> : Th-232, Ra-228
M5 Thermostaub	Filterstäube von Hochtemperaturprozessen Bsp.: Sinterstäube, Rückstände von Hüttenprozessen, Filterstäube des Brennens von mineralischen Stoffen, thermischer Phosphataufschluss	<u>U-Reihe</u> : U-238/ERa-226 GGW Pb-210 / Po-210 angereichert <u>Th-Reihe</u> : GGW <u>U-Reihe / Th-Reihe</u> : U-Reihe dominiert <u>U-238 / U-235</u> : 21,7 <u>Ac-Reihe</u> : weitestgehend GGW	<u>U-238_{max}</u> : Pb-210, Po-210 <u>Th-232_{max}</u> : Th-232, Ra-228, Th-228 (vernachlässigbar zu Pb-210 / Po-210)

GGW = radioaktives Gleichgewicht

Dies liegt insbesondere darin begründet, dass Art und Anzahl der möglichen Einflussgrößen, die sich modifizierend auf das Radionuklidgemisch auswirken, derart mannigfaltig sind, dass eine geschlossene Behandlung weniger exemplarischer Fälle nicht Erfolg versprechend ist.

- Der Fokus der Untersuchungen lag auftragsgemäß auf Radionukliden, die „leicht“ gammaspektrometrisch nachgewiesen werden können. Einzelne Radionuklide, die im konkreten Fall radiologisch relevant sein können, jedoch über andere Messverfahren bestimmt werden müssen (z. B. U-238, U-234, Th-232, Th-230, Po-210), wurden im Rahmen dieses Vorhabens allgemein behandelt.

Die Uran-Actinium-Reihe und hierbei insbesondere U-235 und Ac-227 wurden nur am Rande behandelt, da die StrlSchV hierfür keine Überwachungsgrenzen vorsieht.

5. In der Laufzeit dieses Vorhabens wurden konkretisierende Regelwerke zur Berechnung charakteristischer Grenzen bei Kernstrahlungsmessungen veröffentlicht, die dem Stand von Wissenschaft und Technik Rechnung tragen. Terminlich war dies zu Beginn des Vorhabens nicht abzusehen und damit nicht vorgesehen, hatte aber zur Konsequenz, dass - nicht zuletzt aus Gründen des Aufwandes und der Laufzeit des Vorhabens - keine einheitliche Darstellung dieser Thematik erfolgen konnte.
Auf Grund der derzeitigen Entwicklungen auf diesem Gebiet kann an dieser Stelle nur empfohlen werden, die diesbezüglichen Arbeiten, die in diesem Vorhaben - da sie den Leistungsumfang nicht im Kern betreffen - nur begonnen worden sind, einer abschließenden Untersuchung in nachfolgenden Vorhaben zuzuführen. Des Weiteren wurde durch die Untersuchungen im konkreten Fall dieses Vorhabens eine geschlossene Beschreibung des Prozesses von der messtechnischen Auswertung einzelner Energielinien bis zur Prüfung der Einhaltung der Überwachungsgrenze auf der Basis mehrerer Radionuklide und Probenkollektive mittels Verfahren, die dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen, vorgezeichnet.
6. Hinsichtlich des Designs oder der Strategie der Probennahme wurden keine Aussagen getroffen. Mehrstufige Probennahmen oder Clusterbeprobungen sollten nicht vorgesehen werden. Die zu bevorzugende Probennahmestrategie ist die der stratifizierten, zufälligen Probennahme, wobei der Begriff der Charge einer Grundgesamtheit zuzuordnen ist. Eine Charge stellt damit eine Grundgesamtheit dar und erzeugt ein Messwertkollektiv gemäß Punkt 1.
7. Die obere Grenze des Vertrauensbereiches des Mittelwertes wird als anforderungsgerechte Messgröße angesehen.
Die Erzeugung von Misch- oder Sammelproben wird abgelehnt, da sie nicht kompatibel mit der Forderung nach einer repräsentativen 95%-VG ist. Die Erzeugung von einfachen Mischproben ist untrennbar mit einer Reduktion des Variationskoeffizienten verknüpft und von daher mit der Definition der obigen Prüfgröße nicht vereinbar. Eine anforderungsgerechte Alternative könnte allenfalls in der Varianzanalyse mehrstufiger Probennahmepläne liegen.
8. Die Berechnungsgrundlage zur Bestimmung repräsentativer Schätzwerte für $U-238_{\max}$ und $Th-232_{\max}$ gemäß StrlSchV sollte durch den im Forschungsvorhaben dargestellten Algorithmus, d. h. die Berechnung der 95%-VG zur Überprüfung der Einhaltung der Überwachungsgrenze ersetzt werden.
Eine Ausnahme stellen Messwertkollektive dar, von denen schon im Vorfeld bekannt ist, dass die Messwerte einen geringen Variationskoeffizienten aufweisen und gut an Normal- bzw. Log-Normal-Verteilungen approximiert werden können, da dann die Ergebnisse gegen die Werte des dargestellten Verfahrens konvergieren (vgl. die obere der beiden folgenden Tabellen).

Tabelle 1:

Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der beschriebenen Verfahren zur Berechnung der 95%-VG des Mittelwertes (Beispiel, Werte in [Bq/g])

Probenbezeichnung	SSK-Verfahren (95%-VG _{SSK})	Bootstrap-Verfahren (95%-VG _{boot})	Bootstrap-Verfahren (95%-VG _{BCa})	Empfehlung ProUCL (95%-VG _{ProUCL})
n=20, Ra-226 [Ssk 04]	1,35	1,23 / 1,16 / 1,20	1,35 / 1,41 / 1,39	1,07
n=20, U-238 [Ssk 04]	1,11	0,93 / 0,96 / 0,93	1,08 / 1,10 / 1,08	n. b.
n=10, Ra-226 ([Rei 05], Tab.44)	0,42	0,28 / 0,27 / 0,27	0,34 / 0,33 / 0,34	n. b.

Tabelle 2:

Vergleich der Werte der 95%-VG anhand von Literaturwerten. (Werte sind beispielhafte Zahlen). CV: Variationskoeffizient; μ : arith. Mittelwert; p: 95-Perzentil

Bezeichnung	Datensätze	SSK-Verfahren (95%-VG _{SSK})	Bootstrap-Verfahren (95%-VG _{boot})
n = 15 Normalverteilung N(100; 50) N(1000; 100)	2, 24, 49, 82, 88, 120, 128, 137, 181, 187, 851, 902, 1.027, 1.042, 1.230 ($\mu=403$; $p=1.098$)	2.623	618
n = 15 Lognormalverteilung LN(5;1,5) CV = 0,27	6, 53, 111, 128, 182, 196, 398, 441, 501, 598, 941, 1.013, 1.520, 1.530, 1.858 ($\mu=614$; $p=1.628$)	1.342	916
n = 15 Lognormalverteilung LN(5;1,7), CV = 0,33	4, 17, 35, 75, 96, 168, 182, 189, 229, 235, 325, 879, 1307, 1499, 1860 ($\mu=473$; $p=1607$)	2.087	786
n = 17 Grundwasser Proben	Al: 71, 71, 107, 113, 125, 163, 164, 264, 290, 527, 586, 979, 2.640, 2.660, 3.560, 5.920, 13.200 ($\mu=1.708$; $p=7.376$) Mn: 16, 28, 86, 91, 150, 199, 259, 281, 390, 777, 824, 838, 1.010, 1.350, 1.490, 3.250, 4.300 ($\mu=902$; $p=3.460$)	Al = ----- ^a Mn = 3.280	Al = 3.888 Mn = 1.527

^a Für Aluminium ist an dieser Stelle kein Wert angegeben, da das Berechnungsalgorithmus hier versagt (bei hohen Standardabweichungen und bei kleineren Stichprobenumfängen n = 40 ist das Ablesen der Konfidenzfaktoren nicht möglich)

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Basierend auf dem Ergebnis des Forschungsvorhabens werden seitens der Leitstelle ENORM einheitliche Vorgaben zur Probeentnahme und Probenaufbereitung von Rückständen und Baustoffen im Rahmen der BMU-Messanleitungen veröffentlicht. Damit kann sichergestellt werden, dass die Messergebnisse besser als bisher miteinander vergleichbar und repräsentativ sind. Dies ist eine wichtige Voraussetzung zur gesicherten radiologischen Bewertung der gemäß StrlSchV, Anlage XII, Teil A genannten Rückstände sowie von Baustoffen.

Weiterer Untersuchungsbedarf besteht nach Auffassung des Auftragnehmers in der Anpassung der mathematischen Modelle zur Auswertung gammaspektrometrischer Radioaktivitätsmessungen an den Stand von Wissenschaft und Technik, sowie der Revision der Berechnungsgrundlagen repräsentativer Schätzwerte zur Überprüfung der Einhaltung der Überwachungsgrenzen gemäß StrlSchV (vgl. Punkt 5 und 8 im vorhergehenden Kapitel).

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Subject area 08
Non-ionising radiation

Thema Bestimmung und Vergleich der von Erdkabeln und Hochspannungsleitungen verursachten Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern			
Subject <i>Determination and comparison of the low frequency electric and magnetic fields caused by high voltage transmission lines</i>			
Kennzeichen St.Sch. S3608S03011	Beginn 01.07.2008	Ende 30.06.2009	Fördermittel EUR 117.870,-
Forschungs- / Auftragnehmer ECOLOG-Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung gGmbH, Hannover			
Projektleitung Dr. H.-P. Neitzke	Fachbetreuung BfS D. Geschwentner / AG-SG 1.2	verantwortlich für den Text Dr. H.-P. Neitzke	

1. ZIELSETZUNG

In dem Projekt waren mittels Messungen vor Ort tatsächlich vorkommende und mittels Berechnungen für die höchste Anlagenauslastung maximal mögliche elektrische und magnetische Immissionen in der Umgebung von Freileitungen und Erdkabeln für die Stromversorgung auf den Spannungsebenen 380 kV, 220 kV und 110 kV zu bestimmen. Dabei waren unterschiedliche technische Realisierungen der Stromversorgungstrassen zu berücksichtigen. Die Immissionen waren für Freileitungs- und Erdkabeltrassen zu vergleichen. Ferner waren die Auswirkungen der Stromversorgungstrassen auf die Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern in Wohnungen zu untersuchen.

2. EINZELZIELSETZUNG

In dem Projekt waren drei Aufgabenbereiche zu bearbeiten, für die im Folgenden die jeweiligen Zielsetzungen skizziert werden.

2.1 Bestandsaufnahme

In diesem Arbeitspaket war ein Überblick über Verfahren zur Messung bzw. Berechnung der Felder in der Umgebung von Stromversorgungsanlagen sowie zu den Ergebnissen entsprechender bereits vorliegender Untersuchungen zu geben.

2.2 Analyse der elektrischen und magnetischen Immissionsverteilungen in der Umgebung von Stromversorgungstrassen

Im zweiten Arbeitspaket waren zunächst Konzepte für die messtechnischen Bestimmung und die Berechnung der Immissionen in der Umgebung von Freileitungen und Erdkabeln zu entwickeln und es war ein handhabbares Computerprogramm zur Berechnung magnetischer Felder an Stromversorgungstrassen zu erstellen.

Die Messungen der Felder in der Umgebung von Freileitungs- und Erdkabeltrassen waren für die aktuelle Anlagenauslastung durchzuführen. Im zweiten Schritt waren dann rechnerisch die Felder für maximale Anlagenauslastung zu bestimmen. Die extrapolierten Immissionen waren anhand der Grenzwerte der 26. BImSchV zu bewerten. Um Unterschiede bezüglich der Einwirkbereiche abschätzen zu können, sollten zudem Abstände zu den Trassen bestimmt werden, ab denen auch im Fall maximaler Anlagenauslastung vorgegebene Immissionswerte (z. B. 0,1 µT für das magnetische Feld) unterschritten werden.

2.3 Auswirkungen der von Stromversorgungstrassen verursachten Immissionen auf die Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern in Wohnungen

In diesem Arbeitspaket war der Einfluss zu untersuchen, den die von Stromversorgungstrassen (Freileitungen, Kabel) verursachten Immissionen auf die Exposition der Bevölkerung gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern haben. Dazu waren die Magnetfelder in Wohnungen fernab und in der Nähe von Stromversorgungstrassen zu messen. Für letztere wurde zudem eine Extrapolation auf maximale Anlagenauslastung vorgenommen.

3. METHODIK

3.1 Bestandsaufnahme

Die Grundlage der Bestandsaufnahme war eine umfassende Literaturrecherche unter Einbeziehung

- wissenschaftlicher Veröffentlichungen zu mess- und rechentechnischen Bestimmungen der Felder in der Umgebung von Stromversorgungsanlagen,
- wissenschaftlicher Veröffentlichungen zur Expositionserfassung im Rahmen epidemiologischer Studien,
- veröffentlichter Gutachten zu den niederfrequenten Immissionen in der Umgebung von Stromversorgungsanlagen.

3.2 Analyse der elektrischen und magnetischen Immissionsverteilungen in der Umgebung von Stromversorgungsstrassen

Die Konzepte für die messtechnische Bestimmung und die rechnerische Prognose der Immissionen in der Umgebung von Freileitungen und Erdkabeln wurden auf Grundlage der Empfehlungen des Länderausschusses Immissionsschutz und der Erfahrungen aus vorangegangenen Vorhaben entwickelt.

An Freileitungen wurde auf einem Weg möglichst in der Nähe des größten Durchhangs je ein Querprofil der elektrischen und der magnetischen Feldstärke in der für normgerechte Messungen vorgeschriebenen Höhe von einem Meter über dem Erdboden vermessen. Die vorgesehenen Messorte bzw. -abstände waren (einheitlich für alle Spannungsebenen):

- genau in der Trassenmitte (0 m),
- zu beiden Seiten in 5-Meter-Schritten bis zu 20 m Abstand von der Trassenmitte,
- anschließend in 10-Meter-Schritten (in einigen Fällen bis der aktuelle Messwert unter 0,1 μT lag).

An jedem Messpunkt wurde mit einer normgerechten dreidimensionalen 100 cm²-Sonde im „act“-Modus sechsmal der Effektivwert (RMS-Wert) der aktuellen magnetischen Flussdichte (mit 50 Hz-Filter) aufgenommen. Wenn relativ starke Schwankungen beobachtet wurden, wurde die Zahl der Einzelmesspunkte erhöht. Zusätzlich wurde in der Trassenmitte ein Spektrum der magnetischen Flussdichte im Bereich von 5 bis 2.000 Hz aufgezeichnet, um Aufschluss über die Stärke der Oberwellenanteile zu erhalten. Außerdem wurde zur Erfassung der Immissionsschwankungen eine etwas längere kontinuierliche Messung der magnetischen Flussdichte durchgeführt.

Für die Messung der elektrischen Feldstärke wurde die Messsonde in einem Meter Höhe auf einem Holzstativ befestigt. Die Steuerung erfolgte über ein 5 m langes Glasfaserkabel. Während der Messungen befand sich die Sonde immer zwischen der Quelle und dem Messpersonal, um die störenden Einflüsse so gering wie möglich zu halten. Die Erfassung der Messwerte (Einzelpunkte mit 50 Hz-Filter und Spektrum in Trassenmitte) erfolgte analog zu dem beschriebenen Vorgehen für die magnetische Induktion. Wegen den erwartungsgemäß geringeren Schwankungen in den Spannungen, verglichen mit den möglichen Schwankungen bei den Strömen, wurden pro Messpunkt nur drei Messwerte festgehalten. Wenn nötig, wurden im Messprotokoll zusätzliche Angaben über möglicherweise das elektrische Feld beeinflussende Umstände (z. B. Veränderungen am Erdboden, Pflanzenbewuchs usw.) festgehalten.

Bei Erdkabeln schirmt der Erdboden das elektrische Feld praktisch vollständig ab, so dass hier nur Messungen der magnetischen Flussdichte erforderlich waren. Die genaue Bestimmung der Trassenmitte war bei Kabeltrassen meist nicht ganz einfach. Durch Vergleich der Betreiberangaben über die Lage der Kabeltrasse mit einer ersten Orientierungsmessung der magnetischen Feldstärke wurde als „Referenzpunkt“ der Ort des aktuellen Maximums gewählt. Dieser wurde als Trassenmitte angenommen. Die Messungen ergaben, dass diese Wahl recht gut mit den Symmetriemitten der Querprofile übereinstimmte (± 1 m).

Für den besseren Vergleich mit den Immissionen bei den Freileitungen wurde auch an den Kabeltrassen das Querprofil in einem Meter Höhe über dem Erdboden gemessen. Zusätzlich wurde in der Normmesshöhe für Kabeltrassen von 20 cm im „max-hold“-Modus das Maximum der magnetischen Flussdichte für den Bereich der Kabeltrasse erfasst und festgehalten.

Die Messungen erfolgten (einheitlich für alle Spannungsebenen):

- am Referenzpunkt in Trassenmitte (0 m),
- dann zu beiden Seiten in 2-Meter-Schritten bis zu 10 m Abstand von der Trassenmitte und
- anschließend in 5-Meter-Schritten bis zu 20 m Abstand.

Auch an Kabeltrassen wurden, wie an Freileitungen, an jedem Messpunkt sechs aktuelle Einzelwerte im „act“-Modus mit 50 Hz-Filter festgehalten und in Trassenmitte wurde ein Spektrum aufgezeichnet. Die Strom- bzw. Magnetfeldschwankungen wurden durch längere kontinuierliche Messungen erfasst.

Die Berechnungen wurden sowohl für Freileitungs- als auch für Erdkabeltrassen mit dem Programm WinField anhand der von den Anlagenbetreibern zur Verfügung gestellten technischen und betrieblichen Daten durchgeführt.

Auftragsgemäß wurde auch ein eigenes Programm für die rechentechnische Prognose der Magnetfeldimmissionen entlang von Stromversorgungstrassen (EXCEL-VB-Makro) entwickelt.

3.3 Auswirkungen der von Stromversorgungstrassen verursachten Immissionen auf die Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern in Wohnungen

Die Messungen in Wohnungen fernab und in der Nähe von Hochspannungstrassen wurden nach dem gleichen Verfahren durchgeführt. Die Immissionen wurden in jeder Wohnung in drei Räumen (Wohnzimmer, Schlafzimmer und Kinderzimmer bzw., wenn es letzteres nicht gab, ein weiteres anderes Zimmer) jeweils in der Raummitte in einem Meter Höhe über dem Fußboden ermittelt. Um die Größe der räumlichen Schwankungen abschätzen zu können, wurden in einem Raum, dem „Referenzraum“ (meist im Wohnzimmer), an vier weiteren Punkten auf den Raumdiagonalen jeweils im halben Abstand von der Raummitte zu den Ecken die gleichen Messungen durchgeführt, so dass sich ein 5-Punkt-Messraster ergab. Wenn sich ein Messpunkt relativ dicht an einem eingeschalteten elektrischen Gerät befand, so wurde dies im Protokoll festgehalten, damit bei der Auswertung neben dem Mittelwert über alle Messpunkte auch der Mittelwert über alle Messpunkte ohne direkte Nachbarschaft zu einer lokalen Feldquelle bestimmt werden konnte. Aus den Messwerten aller Räume wurde ein „Wohnungsmittelwert“ berechnet.

Um die kurzzeitigen Schwankungen auszugleichen, wurde an allen Messpunkten mindestens eine Minute lang alle fünf Sekunden ein Einzelmesswert aufgezeichnet und protokolliert, zum einen als Breitbandwert (30 bis 2.000 Hz) und zum anderen als 50 Hz-Filterwert. Da es darum ging, realistische Expositionen der Bewohner zu ermitteln, wurden die Messungen zunächst „im Normalzustand“ durchgeführt, das heißt, dass alle elektrischen Geräte, die üblicherweise in Betrieb sind, auch während der Messung eingeschaltet waren.

In dem „Referenzraum“ wurde in der Raummitte zusätzlich ein Frequenzspektrum aufgezeichnet, ebenfalls bei eingeschalteten Geräten. Außerdem wurden dort die Messungen (Breitbandmessung, 50 Hz-Filterwert, Spektrum) wiederholt, wenn möglichst alle Geräte ausgeschaltet waren. In einem Fall wurden die Messungen mit dem Gerätezustand AUS an allen Punkten wiederholt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 Bestandsaufnahme

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurden

- grundlegende Informationen zur technischen Realisierung von Freileitungen und Erdkabeln zusammengetragen, die Einflussfaktoren elektrischer und magnetischer Immissionen in der Umgebung von Freileitungen und Erdkabeln dargestellt sowie immissionsschutzrechtliche Bestimmungen und Normen aufgeführt,
- eine Übersicht über messtechnische und rechnerische Verfahren zur Bestimmung der von Stromversorgungsanlagen verursachten elektrischen und magnetischen Felder und über verfügbare Messgeräte erstellt,
- die Ergebnisse einer Literaturstudie zu bereits vorliegenden Untersuchungen zu den Immissionen in der Umgebung von Freileitungen bzw. von Erdkabeln sowie in Wohnungen in komprimierter Form dargestellt.

Ausgangspunkt für die Literaturrecherche war die im ECOLOG-Institut geführte Datenbank EMFbase mit knapp 9.000 Einträgen, in der nicht nur die einschlägigen Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, sondern auch verfügbare Gutachten erfasst sind. Zusätzlich wurde eine Recherche in anderen Datenbanken durchgeführt.

4.2 Analyse der elektrischen und magnetischen Immissionsverteilungen in der Umgebung von Stromversorgungstrassen

Es wurden die in Tabelle 1 aufgelisteten Messungen und Berechnungen durchgeführt.

Tabelle 1: Untersuchte Anlagen

Art der Anlage	Zahl der untersuchten Anlagen	
	Messungen	Berechnungen
380 kV-Freileitung	9	10
220 kV-Freileitung	1	1
380 kV-Erdkabel	3	4
220 kV-Erdkabel	1	1
110 kV-Freileitung	9	9
110 kV- Erdkabeln	5	5

4.3 Auswirkungen der von Stromversorgungstrassen verursachten Immissionen auf die Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern in Wohnungen

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die untersuchten Wohnungen fernab (ohne Trasse) und in der Nähe von Hochspannungstrassen verschiedener Spannungsebenen.

Tabelle 2: Untersuchte Wohnungen

Nachbarschaft der Wohnungen zu Trassen	Zahl der untersuchten Wohnungen	
	Rastermessungen	24 h-Dauermessungen
ohne Trasse	5	1
380 kV-Freileitung	5	2
110 kV-Freileitung	6	1
110 kV-Erdkabel	2	1

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Messungen und der Berechnungen der Felder an Hochspannungstrassen sowie der Messungen in Wohnungen stimmen weitgehend mit den Befunden aus früheren Untersuchungen überein:

- a) Die Höhe der von Freileitungen und Erdkabeln verursachten Immissionen hängt sehr stark von den konstruktiven und betrieblichen Parametern ab. Kritische Parameter sind
 - die Stärke des übertragenen Stroms, die sich direkt auf die Stärke des Magnetfeldes auswirkt und bei Freileitungen zudem den Durchhang der Leiterseile beeinflusst, was wiederum Folgen sowohl für das magnetische als auch für das elektrische Feld hat,
 - die Zahl der aufgelegten Systeme und deren Anordnung,
 - die Aufhängehöhe bzw. der Durchhang von Freileitungsleiterseilen bzw. die Verlegetiefe von Erdkabel,
 - die relative Anordnung der Phasenleitungen der Systeme und deren Strombelegung.
- b) Die von Erdkabeln der gleichen Spannungsebene außerhalb des Trassenbereichs verursachten Immissionen sind deutlich niedriger als die von Freileitungen verursachten (s. u.).
- c) Die Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern nehmen mit der Wohnungsdichte zu, sie sind in Mehrfamilienhäusern höher als in Einfamilienhäusern.
- d) Hochspannungsfreileitungen können in benachbarten Wohnungen zu mittleren Expositionen führen, die deutlich über denen in Wohnungen fernab solcher Trassen liegen (s. u.). In der Nähe häuslicher Stromversorgungsanlagen oder von in Betrieb befindlichen Elektrogeräten können die Expositionen deutlich über dem allgemeinen Haushintergrund liegen und auch deutlich höher sein als die Beiträge von Hochspannungsfreileitungen.

In den Tabellen 3 und 4 sind die Maxima der durch Messungen oder Berechnungen für verschiedene Typen von Hochspannungstrassen ermittelten Werte jeweils für den bei der Messung gegebenen aktuellen Strom ($I=I_{\text{akt}}$) sowie für den Fall maximaler Anlagenauslastung ($I=I_{\text{max}}$) zusammengestellt:

E_{maxT} B_{maxT}	Maximalwert der elektrischen Feldstärke bzw. der magnetischen Flussdichte im Bereich der Trasse
E (50 m) B (50 m) B (20 m)	Maximalwert der elektrischen Feldstärke bzw. der magnetischen Flussdichte in 50 m Abstand von der Trassenmitte bei Freileitungen bzw. 20 m bei Erdkabeln
r (0,01 kV/m) r (0,1 μT)	maximaler Abstand, ab dem die Werte für die elektrische Feldstärke Werte kleiner als 0,01 kV/m bzw. die für die magnetische Flussdichte kleiner als 0,1 μT sind

Die angegebenen Werte beziehen sich auf eine Höhe von 1,0 m über Grund.

Tabelle 3: Maximalwerte der bei Messungen und Berechnungen ermittelten Werte für die elektrische Feldstärke an Hochspannungsfreileitungstrassen

Art der Trasse	E_{maxT} [kV/m]		E (50 m) [kV/m]		r (0,01 kV/m) [m]	
	$I=I_{\text{akt}}$	$I=I_{\text{max}}$	$I=I_{\text{akt}}$	$I=I_{\text{max}}$	$I=I_{\text{akt}}$	$I=I_{\text{max}}$
380 kV	5,92	8,81	0,59	0,63	356	405
220 kV	2,84	3,67	0,14	0,12	121	133
110 kV	1,59	2,19	0,05	0,05	116	115

Tabelle 4: Maximalwerte der bei Messungen und Berechnungen ermittelten Werte für die magnetische Flussdichte an Hochspannungstrassen

Art der Trasse	B_{maxT} [μT]		B (r) [μT]		r (0,1 μT) [m]	
	$I=I_{\text{akt}}$	$I=I_{\text{max}}$	$I=I_{\text{akt}}$	$I=I_{\text{max}}$	$I=I_{\text{akt}}$	$I=I_{\text{max}}$
Freileitung			$r=50$ m			
380 kV	4,80	51,62	0,91	5,73	176	466
220 kV	2,60	24,91	0,12	0,92	50	132
110 kV	4,11	15,76	0,20	0,58	54	132
Erdkabel			$r=20$ m			
380 kV	3,52	85,8	0,19	1,37	34	74
220 kV	0,05	0,36	0,03	0,17	0	29
110 kV	0,69	4,61	0,04	0,06	6	15

Die auf maximale Anlagenauslastung extrapolierten Immissionen erreichten im Bereich von Freileitungstrassen ca. 52 μT bzw. 9 kV/m (1,0 m Höhe). Während der Grenzwert der 26. BImSchV für das magnetische Feld somit überall eingehalten war, wurden in mehreren Fällen kleinräumige Überschreitungen des Grenzwerts für das elektrische Feld (5 kV/m) festgestellt. Im Bereich des Normalverlaufes von Erdkabeltrassen (Verlegetiefe 1,5 m oder mehr) erreichten die auf maximale Anlagenauslastung extrapolierten magnetischen Immissionen einen Wert von maximal 108 μT (0,2 m Höhe) bzw. 86 μT (1,0 m Höhe). Bei geringeren Verlegetiefen, wie sie bei einer untersuchten Erdkabeltrasse im Bereich einer Brücke gegeben war, sind natürlich höhere Immissionen möglich. Der für Erdkabel ermittelte Maximalwert der magnetischen Flussdichte war somit höher als die entsprechenden Werte an Freileitungstrassen, die Immissionen nehmen bei Erdkabeln jedoch, anders als bei Freileitungen, sehr schnell mit dem Abstand zur Trassenmitte ab. So lagen die maximalen Mindestabstände, ab denen ein Wert von z. B. 0,1 μT auch im Fall höchster Anlagenauslastung nicht überschritten wird, für die untersuchten 380 kV-Freileitungen zwischen 259 und 466 m. Bei den untersuchten 380 kV-Erdkabeltrassen wurde dieser Wert spätestens ab einem Abstand von 74 m nicht mehr überschritten. In dem Tunnelabschnitt mit einer Verlegetiefe von mehr als 30 m Tiefe wurde dieser Wert selbst direkt über der Trasse nicht erreicht. In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Messungen und Berechnungen der Magnetfelder in Wohnungen zusammengefasst. Aufgeführt sind die Mittelwerte (MW) bzw. Maximalwerte (Max) der Wohnungsmittelwerte für die magnetische Flussdichte B_{WohnM} jeweils für drei Lastzustände der benachbarten Hochspannungstrassen. In

der letzten Zeile sind die Ergebnisse der Messungen in Wohnungen fernab von Hochspannungstrassen (o. Trasse) angegeben. Außerdem sind unter $I=I_{\text{akt}}$ neben den gemessenen Wohnungsmittelwerten auch die bei den Messungen in Wohnungen aufgetretenen maximalen Einzelwerte der magnetischen Flussdichte aufgeführt.

Die Werte in Wohnungen mit benachbarten Hochspannungstrassen wurden für $I=0$ und $I=I_{\text{max}}$ aus den Messwerten für $I=I_{\text{akt}}$ berechnet, indem der für den Beitrag der jeweiligen Trasse bei $I=I_{\text{akt}}$ berechnete Wert von den Messwerten abgezogen wurde bzw. indem der für $I=I_{\text{max}}$ berechnete Beitrag der Trasse zu den für $I=0$ ermittelten Werten addiert wurde.

Tabelle 5: Ergebnisse der Messungen und Berechnungen der Magnetfelder in Wohnungen in der Nähe unterschiedlicher Stromübertragungstrassen für verschiedene Lastzustände

	$I=0$		$I=I_{\text{akt}}$			$I=I_{\text{max}}$	
	$B_{\text{WohnM}} [\mu\text{T}]$		$B_{\text{WohnM}} [\mu\text{T}]$		$B_{\text{maxE}} [\mu\text{T}]$	$B_{\text{WohnM}} [\mu\text{T}]$	
	MW	Max	MW	Max		MW	Max
Freileitung							
380 kV	0,06	0,09	0,81	2,16	3,39	8,9	14,3
110 kV	0,04	0,09	0,35	1,04	1,17	1,4	3,9
Erdkabel							
110 kV	0,04	0,05	0,04	0,06	< 0,2	< 0,1	0,1
o. Trasse	0,05	0,09					

Für Wohnungen fernab von Hochspannungsversorgungstrassen wurde ein Mittelwert der Wohnungsmittelwerte (Mindestabstand zu eingeschalteten Geräten 1,0 m) von 0,05 μT ermittelt. In Wohnungen mit benachbarten 380 kV- (110 kV-) Freileitungstrassen ergab sich für die aktuelle Stromlast ein Mittelwert der Wohnungsmittelwerte von 0,81 μT (0,35 μT) und ein maximaler Einzelwert von 3,39 μT (1,17 μT). Die Berechnungen für Maximallast ergaben einen mittleren Wohnungsmittelwert von 8,9 μT (1,4 μT) und Maximalwerte bis 14,3 μT (3,9 μT). Der Einfluss von 110 kV-Erdkabeltrassen auf die Expositionen in Wohnungen lag innerhalb der Variationsbreite der Expositionen in Wohnungen fernab solcher Trassen. Keine Werte liegen vor für Expositionen in Wohnungen in der Nähe von 220 oder 380 kV-Erdkabeltrassen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse dienen der weiteren Verbesserung des Strahlenschutzes und der Strahlenschutzvorsorge im Hinblick auf die Bevölkerung. Im Zusammenhang mit dem für die zunehmende Nutzung regenerativer Energiequellen notwendigen Ausbau der Transportnetze können die ermittelten Daten zur Abschätzung zu erwartender Expositionen von Anwohnern neuer Trassen beitragen und zu einer inhaltlichen Weiterentwicklung des Informationsangebots des BfS genutzt werden. Die Vielzahl konstruktiver und betrieblicher Parameter, die die Exposition beeinflussen können, macht allerdings für eine exakte Expositionsbestimmung weiterhin eine Bewertung der konkreten Expositionssituation vor Ort erforderlich.

Thema Risikowahrnehmung und Risikokommunikation im Bereich der Niederfrequenten Felder			
Subject <i>Risk perception and risk communication related to low-frequency fields</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3608S03015	Beginn 10.07.2008	Ende 31.07.2009	Fördermittel EUR 145.852,-
Forschungs- / Auftragnehmer Öko-Institut e.V., Büro Darmstadt			
Projektleitung Chr. Küppers	Fachbetreuung BfS C. Egblomassé-Roidl / AG-SG 1.4		verantwortlich für den Text Chr. Küppers

1. ZIELSETZUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat eine zunehmende Aufmerksamkeit in der Bevölkerung im Bereich niederfrequenter Felder (NF) festgestellt, die sich unter anderem in verstärkten Bürgeranfragen zu Hochspannungsleitungen (HSL) und allgemein zu Leitungen der Energieversorgung äußert. Daher wird eine Risikokommunikation vor dem Hintergrund der wissenschaftlichen Unsicherheiten bei der Bewertung möglicher gesundheitlicher Auswirkungen sowie der Möglichkeit eines verstärkten Netzausbaus (z. B. durch den Ausbau der Offshore-Windenergie) als erforderlich gesehen.

Ziel des Vorhabens war es, die Risikowahrnehmung der Bevölkerung Deutschlands im Bereich NF zu untersuchen, um angemessene Strategien und Verfahren zur Risikokommunikation umsetzen zu können.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Gesamtzielsetzung gliederte sich in zwei Einzelzielsetzungen.

2.1 BESTANDSAUFNAHME

Das erste Einzelziel bestand darin, vorliegende Erkenntnisse im Hinblick auf die Risikowahrnehmung in der Bevölkerung sowie den aktuellen Kenntnisstand hinsichtlich möglicher gesundheitlicher Auswirkungen zu erfassen.

2.2 ERHEBUNG VON INFORMATIONEN IN DER BEVÖLKERUNG

Das zweite Einzelziel war die Ermittlung der Risikowahrnehmung im Bereich NF in der Bevölkerung sowie des Kenntnisstands und der Informationsbedürfnisse der Bevölkerung. Dabei sollte zum einen die Situation in der Bevölkerung insgesamt erfasst werden, zum anderen die Situation bei Personen, die tatsächlich einer besonderen Exposition ausgesetzt sein können.

3. METHODIK

3.1 LITERATURRECHERCHE

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurde eine Literaturübersicht erstellt. Die Literatur wurde einer Kurzbeurteilung unterzogen und es wurden im Hinblick auf die weiteren Arbeiten zusammenfassende Schlussfolgerungen abgeleitet.

3.2 BREITENERHEBUNG UND VERTIEFENDE BEFRAGUNG SOWIE DEREN AUSWERTUNG

Die Informationen aus der Bevölkerung wurden in zwei Umfragen, einer Breitenerhebung und einer vertiefenden Befragung erhoben. Die Breitenerhebung erfolgte als repräsentative computerunterstützte telefonische Umfrage in der Bundesrepublik Deutschland mit einem Umfang von 1.514 Teilnehmern (Personen im Alter von 18 Jahren und älter) und einer Interviewdauer von jeweils etwa 30 Minuten. Die Teilnehmer der Breitenenerhebung wurden zufallsausgewählt aus den Privathaushalten mit Telefonanschluss.

Die vertiefende Befragung wurde bei 205 Anwohnern in der Nähe von HSL durchgeführt, die eine Dauer von etwa 30 bis 45 Minuten hatten. Die Rekrutierung der Teilnehmer an der vertiefenden Befragung erfolgte etwa zur Hälfte ausgehend von der Breitenerhebung durch Abfrage der Nähe zu einer HSL und der Bereitschaft zur Teilnahme an einer weiteren Befragung. Die weiteren Teilnehmer wurden analog der Breitenerhebung zufallsausgewählt, wobei aber gezielt Gebiete mit besonders hoher Dichte an Hochspannungstrassen einbezogen wurden.

Die Auswertung erfolgte sowohl deskriptiv als auch im Hinblick auf potenzielle Einflussgrößen der Risikowahrnehmung.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Bestandsaufnahme wurde als Zwischenbericht vorgelegt. Es wurde ein Fragebogen für die Breitenerhebung erstellt, der für eine computerunterstützte Telefonbefragung verarbeitet wurde. Der erstellte Fragebogen wurde Ende 2008 einem Pretest unterzogen und auf der Basis der Erkenntnisse des Pretests optimiert. Die Breitenerhebung erfolgte Anfang 2009, die Auswertung bis August 2009.

5. ERGEBNISSE

5.1 BISHERIGER KENNTNISSTAND

In der Bestandsaufnahme des Wissensstands zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder der Versorgung mit Strom sowie der Stromanwendung wurden ausgehend von den letzten Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission zu diesen Fragen 17 neuere Untersuchungen zu Krebs und Leukämie, zur Beeinflussung des Nervensystems, kognitiver Fähigkeiten und der Psyche, zu Erkrankungen des kardiovaskulären Systems, zum Metabolismus, zur Knochenqualität, zur Fortpflanzungsfähigkeit, zur antioxidativen Aktivität im Plasma und roten Blutkörperchen, zu Auswirkungen auf die Bindehaut sowie zu DNA (Desoxyribonucleinsäure)-Schäden bewertet.

Auf der Basis des bisherigen Kenntnisstands lassen sich Effekte unterhalb der bestehenden Grenzwerte bislang nicht ausschließen. Bei den Untersuchungen waren zum Teil sehr große Personenkollektive involviert, die auf Grund ihrer beruflichen Tätigkeit oder ihrer Wohnsituation einer erhöhten Exposition durch niederfrequente magnetische Felder ausgesetzt waren. Dies gibt ein gewisses Maß an Sicherheit dafür, dass es keine bislang unerkannten Wirkungen gibt, die zu einer sehr hohen Krankheitsrate führen würden. Im Hinblick auf die Risikokommunikation lässt sich feststellen, dass es im Sinne eines vorsorgenden Schutzes der Gesundheit geboten ist, auf nicht auszuschließende Risiken niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder hinzuweisen.

In der Bestandsaufnahme wurden sieben Untersuchungen zur Risikokommunikation ab dem Jahr 2003 bewertet, bei denen Umfragen in Deutschland, der Schweiz und Österreich durchgeführt worden waren. Dabei handelte es sich um Befragungen der allgemeinen Bevölkerung sowie von Medizinern. Neben niederfrequenten Feldern waren auch hochfrequente Felder der Untersuchungsgegenstand.

Bisher durchgeführte Befragungen zeigen insgesamt, dass ein substanzieller Anteil der Bevölkerung sich Sorgen macht und davon ausgeht, dass elektromagnetische Felder im Alltag Gesundheitssymptome verursachen können. Dies trifft ebenfalls für Allgemeinmediziner zu. Gesundheitssymptome, die dem Einfluss elektromagnetischer Felder zugeschrieben werden, sind jedoch eher unspezifisch (Kopfschmerzen, Schlafprobleme etc.). Bisherige Befragungen haben ebenfalls gezeigt, dass die Risikowahrnehmung durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst wird. Neben persönlichen Faktoren (z. B. Alter, Geschlecht, Bildung etc.) spielt die subjektive Wahrnehmung der Exposition eine große Rolle. Individuell kontrollierbare Expositionen mit hohem persönlichem Nutzen verursachen weniger starke Besorgnis als Expositionen, bei denen dies nicht der Fall ist. Weitere entscheidende Aspekte sind der Kontext (Bezug zum Alltag, Relevanz), aber auch die Wahl der Informationsquellen. Ausgehend von dem bisherigen Kenntnisstand wurden für die Untersuchung fünf Annahmen / Thesen aufgestellt, die durch die Breitenerhebung und die vertiefende Befragung überprüft werden sollten. Dem entsprechend wurden dann die Frageninhalte für die Befragung ausformuliert.

5.2 AUFSTELLUNG DER FÜNF ANNAHMEN

Basierend auf der Bestandsaufnahme wurden fünf Annahmen formuliert:

Annahme 1: Die wahrgenommene Beeinträchtigung und die gesundheitlichen Befürchtungen hängen von der subjektiv erlebten Exposition durch NF-Felder ab. Mit abnehmender Distanz zu NF-Außenanlagen werden zunehmend Beeinträchtigungen durch NF-Felder und gesundheitliche Befürchtungen berichtet.

Annahme 2: Bei geringerer Distanz zu NF-Außenanlagen wird eine höhere Betroffenheit bzw. Exponiertheit durch NF-Felder wahrgenommen als bei größerer Distanz. Somit haben die nah an die NF-Anlagen lebenden Menschen ein höheres Informationsbedürfnis über etwaige Gefahren durch NF-Felder gegenüber den in größerer Entfernung Wohnenden.

Annahme 3: Bei geringerer Distanz zu NF-Anlagen nehmen die Diskussionen in der Nachbarschaft zu den möglichen von NF-Anlagen ausgehenden Gefahren sowie die Häufigkeit eigener Maßnahmen, um sich vor den befürchteten Gefahren zu schützen, zu.

Annahme 4: Die wahrgenommenen Beeinträchtigungen und das Informations- sowie Diskussionsbedürfnis sind aufeinander bezogen - je intensiver die Gesundheitsbefürchtungen und erlebten Beeinträchtigungen desto größer sind das Informations- und Diskussionsbedürfnis.

Annahme 5: Mit zunehmender Nähe resp. abnehmender Distanz zu Quellen niederfrequenter Strahlung wächst einerseits die Umweltbesorgtheit der Betroffenen, gleichzeitig kann ein größeres Informationsinteresse konstatiert werden. Die Überzeugung, dass die entsprechenden Grenzwerte geeignet sind und eingehalten werden sowie dass die Vorsorgebemühungen der zuständigen Behörde ausreichend sind, lässt nach.

5.3 FRAGENINHALTE

Neben demographischen Fragen waren zentrale Themen der Breitenerhebung die Exposition (innerhäusliche Nutzung und außerhäusige Installation), die Risikowahrnehmung im Bereich NF und die damit verbundene Besorgtheit bzw. Beeinträchtigungen sowie gesundheitliche Befürchtungen. Weiterhin wurden das Informationsverhalten, der Kenntnisstand, das Interesse an Informationen / Inhalten sowie bevorzugte Informationsquellen abgefragt. Ein weiterer Themenbereich der Umfrage waren Art und Umfang erwogener oder durchgeführter Maßnahmen und Strategien beim Umgang mit niederfrequenten Feldern, welche Institutionen als die verantwortlichen gesehen werden und welche Maßnahmen seitens der Dritten erwünscht wären.

In der vertiefenden Erhebung wurden darüber hinaus Fragestellungen bezüglich der mit HSL verbundenen Sorgen oder Beeinträchtigungen und die Rolle der Sichtbarkeit einer HSL von zu Hause untersucht, ebenso die Rolle von Gesprächen über Bedenken im Bekanntenkreis.

5.4 AUSWERTUNG

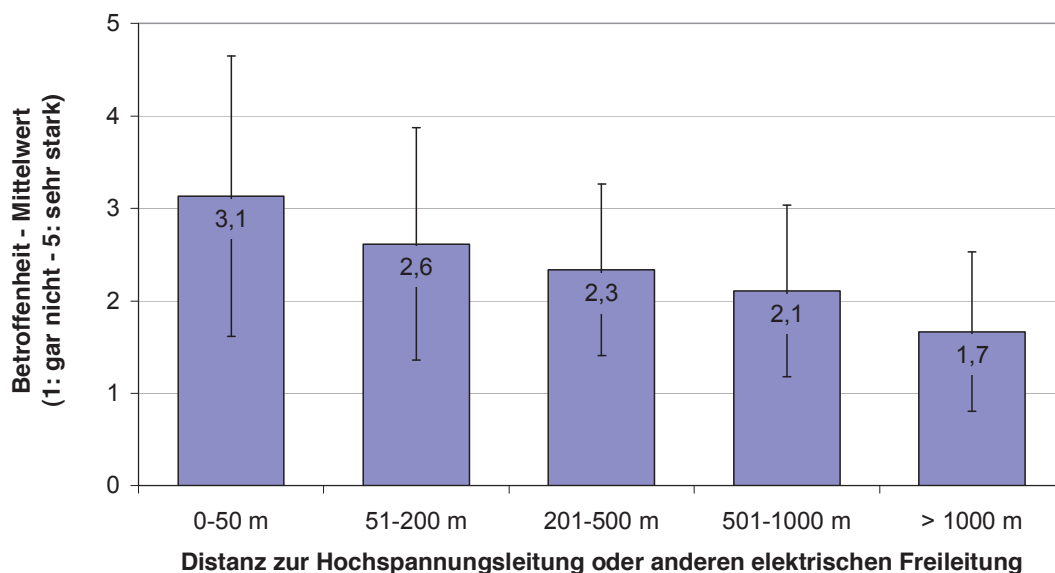
Basierend auf der Auswertung der Umfragen wurden folgende Schlussfolgerungen bezüglich der Gültigkeit einzelner Annahmen gezogen:

Annahme 1: Insgesamt berichten 32% Befragten bei der Breitenerhebung über eine wenig bis sehr hohe gesundheitliche Beeinträchtigung durch NF innerhalb und / oder außerhalb des Hauses. Als konkrete außerhäusige Quelle wurden HSL mit 21,4% am häufigsten genannt, als innerhäusige Quelle am häufigsten (mit ca. 36%) der Fernseher (s. Tabelle 1). Die vertiefende Befragung ergab einen signifikanten Trend der wachsenden Betroffenheit mit der Abnahme der Distanz zur HSL (s. Abbildung 1). Annahme 1 („die wahrgenommene Beeinträchtigung und gesundheitliche Befürchtungen sind abhängig von der subjektiv erlebten Exposition, also zunehmend mit Nähe zu HSL“) wurde durch die Befragung bestätigt.

Tabelle 1:
Gesundheitliche Beeinträchtigung durch niederfrequente Strahlung

	gesamt gültig	Geschlecht		Alter in Jahren					
		m	w	18-29	30-39	40-49	50-59	60-69	> 70
		Relative Häufigkeit - % der „ja“-Angaben							
Außerhäusige Quellen, gesundheitliche Beeinträchtigung wegen niederfrequenter Strahlung									
Anzahl Personen	351	155	196	58	50	87	69	44	31
HSL	21,4	23,9	19,4	8,6	28,0	29,9	20,3	13,6	22,6
Bahntrassen	14,8	14,2	15,3	17,2	16,0	16,1	15,9	6,8	9,7
Trafohäuser / Umspannwerke	17,9	21,3	15,3	17,2	18,0	18,4	21,7	13,6	16,1
Elektrosmog allgemein - außerhäusig	35,3	36,8	34,2	37,9	40,0	42,5	39,1	18,2	22,6
Innerhäusige Quellen, gesundheitliche Beeinträchtigung wegen niederfrequenter Strahlung									
Anzahl Personen	356	160	196	69	51	88	63	44	30
Stromleitungen im Haus	21,3	21,9	20,9	20,3	25,5	23,9	19,0	18,2	20,0
Radiowecker	17,1	15,6	18,4	13,0	13,7	22,7	17,5	18,2	13,3
Fernseher	35,7	35,6	35,7	46,4	35,3	33,0	34,9	31,8	23,3
Stereo- / HiFi-Anlage	14,3	11,9	16,3	21,7	11,8	14,8	11,1	11,4	10,0
Heimkino, Video- / DVD-Recorder / Receiver	19,7	20,6	18,9	26,1	23,5	19,3	15,9	9,1	16,7
E-Herd / Backofen	16,6	15,0	17,9	13,0	19,6	13,6	17,5	15,9	23,3
Elektrosmog allgemein - innerhäusig	41,0	41,3	40,8	47,8	49,0	44,3	42,9	20,5	33,3

**Betroffenheit durch Hochspannungsleitungen
in Abhängigkeit der Distanz zur nächsten HSL**



$N_{\text{gesamt}} = 205$; $N_{\text{gültige}} = 200$; $N_{\text{fehlend}} = 5$

Abbildung 1:
Betroffenheit durch HSL in Abhängigkeit der Distanz der nächsten HSL (die Balken zeigen die Standardabweichung)

Annahme 2: Inwiefern ein Informationsbedarf mit der abnehmenden Distanz der HSL an Relevanz gewinnt, wird am repräsentativen Beispiel der Tabelle 2 gezeigt. Bis zu 50 m Entfernung der HSL ist der Informationsbedarf zwar höher, mit zunehmender Distanz ist jedoch kein fallender Trend ersichtlich. Die Annahme 2 konnte daher durch die Befragungen nicht bestätigt werden.

Tabelle 2:

Informationsbedarf zum Thema „Hochspannungsleitung“ - gesamt und gruppiert nach Distanz zur HSL

	Gesamt	Distanz zur HSL in m				
	gültig	0-50	51-200	201-500	501-1000	> 1000
Anzahl Personen	205	23	32	43	59	48
	%	%	%	%	%	%
(1) Nein, habe mich nicht speziell informiert	65,4	47,8	68,8	79,1	64,4	60,4
(2) Ja, ich habe mich informiert	17,6	21,7	12,5	11,6	15,3	27,1
(3) Ja, ich werde mich informieren	8,3	21,7	9,4	-	10,2	6,3
(4) Sowohl als auch (habe & werde mich informieren)	7,8	8,7	6,3	9,3	10,2	4,2
(8) weiß nicht	1,0	-	3,1	-	-	2,1
Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Annahme 3: Bei der vertiefenden Befragung konnte kein eindeutiger Trend der Abhängigkeit des Gesprächsbedarfs von der Distanz der HSL festgestellt werden. Etwa ein Drittel der Befragten gab an, dass sie sich durch Gespräche mit Nachbarn und Bekannten hinsichtlich Bedenken zur Beeinträchtigung austauschen (s. Tabelle 3), ohne dass eine Entfernungsabhängigkeit erkennbar ist. Annahme 3 konnte in der Befragung daher nicht verifiziert werden.

Tabelle 3:

Gespräche über Bedenken zur Beeinträchtigung durch HSL - gesamt und in Abhängigkeit von der Distanz zur HSL

	Gesamt	Distanz zur HSL in m				
	gültig	0-50	51-200	201-500	501-1.000	> 1.000
Anzahl Personen	63	16	15	17	12	7
	% „eher ja“					
Gespräche mit Nachbarn, Freunde Bekannte über Bedenken bzgl. HSL	34,9	50,0	35,7	25,0	25,0	40,0
$N_{\text{beeinträchtigt}} = 67, N_{\text{gültig}} = 63; N_{\text{fehlend}} = 4$						

Annahme 4: Aus der vertiefenden Befragung wurde der Trend deutlich, dass Gespräche mit Nachbarn und Anderen mit zunehmender gefühlter Beeinträchtigung in der Wohnsituation zunehmen (s. Tabelle 4). Mit zunehmender Beeinträchtigung berichteten die Befragten auch signifikant häufiger, sich informiert zu haben und / oder das vorzuhaben. Ein größeres Informationsbedürfnis bei intensiveren Befürchtungen und erlebten Beeinträchtigungen hat sich in der Befragung daher bestätigt.

Es wurde deutlich, dass generell kein eigenes gravierendes Informationsdefizit von den Befragten wahrgenommen wird, dass aber im Fall eines Informationsbedürfnisses eher der Rat von wissenschaftlicher Seite (und BFS) gesucht wird. Je nach Alter werden vor allem TV / Radio, Printmedien und Internet, aber auch persönliche Gespräche genutzt. Die Mehrheit war mit erhaltenen Informationen zufrieden. Es zeigte sich, dass hinsichtlich technischer Grundlagen oft Kenntnislücken bestehen.

Tabelle 4:**Informationsbedarf zum Thema HSL - gesamt und gruppiert nach erlebter Beeinträchtigung durch HSL**

	Gesamt gültig	Durch HSL in Wohnsituation ...beeinträchtigt				
		(1) nicht	(2) wenig	(3) mittelmäßig	(4) ziemlich	(5) sehr
	205	138	44	15	8	0
	%	%	%	%	%	%
(1) Nein, habe mich nicht speziell informiert	65,4	67,4	68,2	66,7	12,5	0,0
(2) Ja, ich habe mich informiert	17,6	18,1	13,6	20,0	25,0	0,0
(3) Ja, ich werde mich informieren	8,3	8,0	6,8	6,7	25,0	0,0
(4) Sowohl als auch (habe & werde mich informieren)	7,8	5,1	11,4	6,7	37,5	0,0
(8) weiß nicht	1,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Annahme 5: Eine hohe generelle Besorgtheit konnte nachgewiesen werden, denn 95% der Befragten meinten, dass sich jeder um Umwelteinflüsse sorgen sollte. Unabhängig vom Alter, Geschlecht und Entfernung der Wohnung zur HSL haben gemäß der vertiefenden Befragung 80% allgemeine gesundheitliche Informationen und 65% allgemeine technische Informationen angefordert. Nach Tabelle 5 scheint die Umweltbesorgtheit bei den Anwohnern, die in geringerer Entfernung einer HSL wohnen, höher zu sein. Eine verstärkte Überzeugung, dass mit abnehmender Nähe zu HSL die Grenzwerte geeignet und eingehalten werden, sowie zuständige Behörden sich um Vorsorge bemühen, hat sich nicht gezeigt. Annahme 5 konnte durch die Befragungen daher nicht bestätigt werden.

Tabelle 5:**Die Zustimmung zu Aussagen zur Umweltbesorgtheit - gruppiert nach Distanz zur HSL**

	Gesamt gültig	Distanz zur HSL in m				
		0-50	51-200	201-500	501-1.000	> 1.000
Anzahl Personen	205	23	32	43	59	48
		% „ja“-Angaben				
Ich habe für mich und meine Familie keine großen Bedenken im Hinblick auf Umwelteinflüsse	43,4	26,1	40,6	44,2	50,8	43,8
Man kann nicht genug wissen über die Auswirkungen niederfrequenter Strahlung	80,5	87,0	84,4	76,7	79,7	79,2
Die öffentliche Diskussion um Hochspannungsleitungen ist überzogen	26,3	21,7	34,4	23,3	27,1	25,0
Es gibt Grenzwerte zur Strahlenbelastung, die werden ja eingehalten	54,1	56,5	43,8	53,5	61,0	52,1
Die zuständigen Behörden werden sich um die Gesundheitsvorsorge der Bürger schon kümmern	26,8	21,7	28,1	30,2	35,6	14,6
Jede(r) sollte sich letztlich um Umwelteinflüsse sorgen	94,6	95,7	96,9	90,7	94,9	95,8

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Der teilweise sorglose Umgang mit niederfrequenten Feldern sollte einerseits nicht überbewertet werden, andererseits können jedoch gesundheitliche Beeinträchtigungen bei empfindlichen Personengruppen wie z. B. Kleinkindern nicht ausgeschlossen werden. Insgesamt hat die Untersuchung jedoch gezeigt, dass die Besorgtheit hinsichtlich gesundheitlicher Auswirkungen niederfrequenter Felder mit der Nähe der Wohnung zu Hochspannungsleitungen zunimmt. Eine Risikokommunikation, bezogen auf niederfrequente Felder, ist notwendig, vor allem von wissenschaftlicher Seite. Neben wissenschaftlichen Erkenntnissen sollten dabei auch die technischen Aspekte kommuniziert werden, da diese nur unzureichend vorhanden sind. Eine breite Aufklärung über TV / Radio und Printmedien, den bevorzugten Informationsquellen der Bevölkerung, ist notwendig. Das Informationsmaterial vom BfS muss dahingehend überprüft, evtl. vereinfacht und danach gestreut werden. Pressemitteilungen zu gegebener Zeit würden der Aufklärung dienlich sein, um das Thema der Bevölkerung näher zu bringen.

Thema Untersuchungen zur Bedeutung unterschiedlicher Parameter der UV-Exposition und der individuellen Risikofaktoren bei der Entstehung von Hautkrebs			
Subject <i>Investigations on the relevance of different parameters of UV-exposure and individual risk factors of skin cancer development</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3606S04506	Beginn 01.11.2006	Ende 31.10.2009	Fördermittel EUR 471.579,-
Forschungs- / Auftragnehmer Elbeklinikum Buxtehude, Dermatologisches Zentrum Buxtehude			
Projektleitung Prof. Dr. E.W. Breitbart	Fachbetreuung BfS Dr. A. Dehos / AG-SG 1.4		verantwortlich für den Text Dr. B. Volkmer, Dr. R. Greinert

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Projektes war die Charakterisierung UV-induzierter schwer geschädigter Zellen in der Basalzellschicht der Epidermis (Cyclobutan-Pyrimidindimer retaining basal cells, CRBC) keratinozytären (k-CRBC) und melanozytären Ursprungs (m-CRBC) sowie die Untersuchung der Prozesse, die in der Epidermis nach der Induktion von CRBCs ablaufen und möglicherweise zur Hautkrebsinduktion beitragen. Darüber hinaus sollte der Einfluss verschiedener Expositionsparameter auf diese Vorgänge untersucht werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 CHARAKTERISIERUNG DER CRBCs ALS STAMMZELLEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON k- UND m-CRBCs

Da zurzeit kein eindeutiger Marker für die Identifizierung humaner epidermaler Stammzellen zur Verfügung steht, sollten CRBCs auf Grund folgender Eigenschaften charakterisiert werden: Lokalisation in den Reteleisten, niedrige Proliferationsaktivität / label retainment in Kombination mit Stammzellmarkern, Unterschiede auf epigenetischer Ebene (Histon- und DNA (Desoxyribonucleinsäure)-Methylierungsmuster).

2.2 UNTERSUCHUNG DES WEITEREN SCHICKSALS VON k-CRBCs UND m-CRBCs

Obwohl man davon ausgehen kann, dass jede CRBC ein erhöhtes Risiko zu Entartung trägt, ist es unwahrscheinlich, dass sich aus jeder CRBC tatsächlich Hautkrebs entwickelt. Es sollte deshalb geklärt werden, welche weiteren Ereignisse dazu führen, dass eine CRBC entartet. Hierzu sollte untersucht werden, ob die geschädigten Zellen noch zur Teilung fähig sind, ob sie dann die Schäden reparieren oder diese an ihre Tochterzellen weitergeben (die dann eine hohe Mutationsrate aufweisen), oder ob die Zellen doch noch in die Apoptose gehen.

2.3 UNTERSUCHUNG DER WIRKUNG VERSCHIEDENER EXPOSITIONSPARAMETER AUF DIE INDUKTION UND DAS WEITERE SCHICKSAL VON k- UND m-CRBCs UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER STRAHLENQUALITÄTEN IM SOLARIUM

Neuere Untersuchungen zeigen, dass auch durch UVA Cyclobutan-Pyrimidindimere (CPD) in der DNA induziert werden können und dass deren Anzahl sogar die induzierten oxidativen Schäden wie z. B. 8oxoGuanin übersteigt. Im Hinblick auf Solarien, deren Spektrum eine starke UVA-Komponente aufweist, und den großen Anteil von UVA-Strahlung im Sonnenspektrum, sollte die Induktion von CRBCs nach UVA und der Einfluss einer UVA-Vorbestrahlung auf die Induktion von CRBCs durch SSR (Sonnensimulator) untersucht werden.

3. METHODIK

CRBCs wurden in Hautschnitten und in Primärkulturen unter Verwendung eines monoklonalen Antikörpers gegen Cyclobutan-Pyrimidin-Dimere (CPD) identifiziert. Die weitere Charakterisierung der CRBCs erfolgt flu-

oreszenzmikroskopisch oder durchflusszytometrisch unter Verwendung eines Sorters über den immunhistochemischen Nachweis von Oberflächenmarkern. Die Charakterisierung anhand epigenetischer Eigenschaften erfolgte ebenfalls fluoreszenzmikroskopisch unter Einsatz monoklonaler Antikörper (Mehrfachfärbung) oder über eine methylspezifische Real-Time PCR (Polymerase chain reaction).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 CHARAKTERISIERUNG DER CRBCs ALS STAMMZELLEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON k- UND m-CRBCs

4.1.1 Charakterisierung der CRBCs auf Grund ihrer Lokalisation in den Reteleisten

Obwohl die Lokalisation von Stammzellen in der Epidermis kontrovers diskutiert wird, gibt es Hinweise darauf, dass die Basis der Reteleisten als „Stammzellkompartiment“ in Frage kommt. Im Projekt StSch. 4379 konnte in Probandenbiopsien gezeigt werden, dass die induzierten CRBCs überwiegend (> 60%) in der Basis der Reteleisten (proximal) auftreten. In den hier dargestellten Untersuchungen wurde die Lokalisation der CRBCs in den Reteleisten bestimmt, wobei zwischen keratinozytären (k-) CRBCs und melanozytären (m-) CRBCs unterschieden wurde. In gleicher Weise wurde darüber hinaus die Lokalisation von Melanozyten allgemein detektiert.

4.1.2 Charakterisierung der CRBCs über niedrige Proliferationsaktivität / label retainment

Unter der Voraussetzung, dass in Primärkulturen isolierter Epidermiszellen neben Melanozyten epidermale Stammzellen (keratinozytären Ursprungs) sowie „transit amplifying“ (TA-)Zellen und, je nach Kulturbedingung, auch ausdifferenzierte Keratinozyten in einem Gleichgewicht existieren, wurde ein In-vitro-System entwickelt, in dem die Induktion von CRBCs in Zellkultur möglich ist. Zur Überprüfung der Proliferationsaktivität wurden Vitalfarbstoffe (Celltracker Orange (CTO) eingesetzt. Das Prinzip beruht darauf, dass der Vitalfarbstoff sofort von den Zellen aufgenommen wird. Entfernt man den Farbstoff nach 30 Minuten aus dem Kulturmedium, wird der Farbstoff bei jeder nun folgenden Zellteilung auf beide Tochterzellen verteilt und verdünnt sich im Laufe mehrerer Teilungen soweit, dass keine Fluoreszenz mehr nachgewiesen werden kann. Nicht-proliferierende Zellen behalten ihr Fluoreszenzsignal.

4.1.3 Charakterisierung der CRBCs über den Stammzellmarker Oct-4

Oct-4 ist ein Transkriptionsfaktor und wird im Speziellen in embryonalen Stammzellen und Tumorzellen exprimiert. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass auch adulte Stammzellen im Gegensatz zu ausdifferenzierten Zellen Oct-4 exprimieren. Versuche mit einem Antikörper gegen Oct-4 sowohl in Hautschnitten als auch in Zellkultur sollten klären, ob Oct-4 als direkter Stammzellmarker geeignet ist und für eine Charakterisierung von primären epidermalen Stammzellen eingesetzt werden kann.

4.1.4 Charakterisierung der CRBCs über die Kombination von Stammzellmarkern

Im Durchflusszytometer wurde durch eine zweiparametrische Messung (CD49f gegen CD71) die Stammzellpopulation (CD49fbright / CD71dim) identifiziert und mit Hilfe eines Zellsorters isoliert. In einem weiteren Schritt wurde unter Verwendung in situ bestrahlter Epidermiszellen untersucht, ob in der isolierten Stammzellpopulation CRBCs nachgewiesen werden können.

4.1.5 Charakterisierung der CRBCs auf epigenetischer Ebene über Histon-methylierungsmuster

Insbesondere im Zusammenhang mit embryonalen Stammzellen wird berichtet, dass Histonmethylierungsmuster als Marker zur Identifizierung von Stammzellen verwendet werden könnten. Um zu untersuchen, ob eine ähnliche Charakterisierung auf epigenetischer Ebene auch auf adulte Stammzellen zutrifft, wurde eine Färbemethode zum Nachweis des Methylierungsstatus verschiedener, für die Stammzellcharakterisierung relevanter Histone etabliert.

4.1.6 Charakterisierung der CRBCs auf epigenetischer Ebene über DNA-Methylierungsmuster

Um das epigenetische Methylierungsmuster von CRBCs zu charakterisieren, wurde zunächst untersucht, ob eine UV-Exposition einen akuten Einfluss auf den DNA-Methylierungsstatus von Keratinozyten hat. Um Informationen über einen „Späteffekt“ der UV-Exposition insbesondere im Zusammenhang mit der Hautkarzinogenese zu gewinnen, wurde in weiteren Versuchen die DNA-Methylierung in Hautkrebszellen (Plattenepithelkarzinom) im Vergleich zu primären Keratinozyten und Keratinozytenzelllinien quantifiziert. Schließlich wurden vergleichende Untersuchungen in isolierten Keratinozyten des Stammzellkompartments (Collagen oder Flusszytometer-Sorting) und Keratinozyten ohne Stammzellmarker durchgeführt, um den DNA-Methylierungsstatus zu untersuchen.

rungsstatus von CRBCs sowohl im Zusammenhang mit UV-Exposition als auch im Zusammenhang mit Tumor- bzw. Stammzellmarkern charakterisieren zu können. Die Untersuchungen wurden genspezifisch und genomweit durchgeführt. In Tabelle 1 sind die untersuchten Gene dargestellt.

Tabelle 1:
Auf den Methylierungsstatus hin untersuchte Gene und deren Zuordnung zu bestimmten Funktionsbereichen

Funktion	Gene
• <i>Erhalt von Stammzell-Eigenschaften</i>	LIN28, SOX2, NANOG, MYC
• Epigenetik, Histonmodifikation	JMJD3, MLL, SUZ12, RBP1, TET1
• Stammzellmarker, Zellkontakt, Zellmembran & Proliferation	MCSP, CD71, CD29, LRIG1, CD171, THBS2, NES-TIN, KI67
• Tumorsuppressorgene	HIC1, P16INK4a, RB1
• Telomerase	hTERT

4.2 UNTERSUCHUNG DES WEITEREN SCHICKSALS VON k-CRBCs UND m-CRBCs

4.2.1 Untersuchungen in Hautschnitten

In Hautschnitten, die CRBCs enthalten, (Biopsiebank oder Probandenbiopsien aus einem früheren Projekt) wurde das Auftreten von p53 Mutationen und apoptotischen Zellen detektiert.

4.2.2 Untersuchungen im In-vitro-System (Zellkultur)

Um das Proliferationsverhalten von CRBCs untersuchen zu können, wurden primäre Keratinozyten mit 300 J/m² UVB bestrahlt. Nach der Bestrahlung wurden die Kulturen für 96 h inkubiert, um die Reparatur der induzierten Schäden zu erlauben und die Identifizierung von CRBCs zu ermöglichen. Zum Nachweis der Proliferation enthielt das Kulturmedium während der gesamten Kulturzeit IdU (28 µM). Gleichzeitig wurden mit Cytochalasin B binukleate Zellen erzeugt, so dass die Tochterkerne eindeutig identifiziert werden konnten. In weiterführenden Versuchen wurden die Zellen 96 h nach Bestrahlung für 24 h mit dem Tumorpromotor TPA behandelt, um CRBCs zur Proliferation anzuregen.

4.3 UNTERSUCHUNG DER WIRKUNG VERSCHIEDENER EXPOSITIONSPARAMETER AUF DIE INDUKTION UND DAS WEITERE SCHICKSAL VON K- UND M-CRBCs UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER STRAHLENQUALITÄTEN IM SOLARIUM

4.3.1 Induktion von CRBCs durch UVA-Strahlung

UVA bestrahlte Hautproben wurden so in der Petrischale platziert, dass sie vom Nährmedium umschlossen, jedoch nicht bedeckt waren. Nach Bestrahlung mit einer Dosis von 1000 kJ/m² UVA wurden sofort oder nach 96 h Inkubation Gefrierschnitte erstellt und mit einer Melan / CPD-Doppelfärbung k- und m-CRBCs identifiziert.

4.3.2 Einfluss von Vorbestrahlung durch UVA auf die Induktion von CRBCs durch SSR

Hautproben und primäre Keratinozytenkulturen wurden mit UVA vorbestrahlt und 30 Minuten später mit sonnenähnlicher UV-Strahlung exponiert. Nach Bestrahlung wurden die Proben 96 h inkubiert und dann wurden mit einer Melan / CPD-Doppelfärbung k- und m-CRBCs identifiziert.

5. ERGEBNISSE

5.1 CHARAKTERISIERUNG DER CRBCs ALS STAMMZELLEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON k- UND m-CRBCs

5.1.1 Charakterisierung der CRBCs auf Grund ihrer Lokalisation in den Reteleisten

Die Lokalisation sowohl für melanozytäre als auch für keratinozytäre CRBCs ist gleich, wobei etwa 60% der Zellen an der Basis der Reteleiste angesiedelt sind. Obwohl die Lokalisation von Stammzellen in der Epidermis kontrovers diskutiert wird, gibt es Hinweise darauf, dass die Basis der Reteleisten als „Stammzellkompartiment“ in Frage kommt.

5.1.2 Charakterisierung der CRBCs über niedrige Proliferationsaktivität / label retainment

96 Stunden nach Bestrahlung zeigen CRBCs noch roten Vitalfarbstoff (Celltracker Orange, CTO). Die übrigen, ungeschädigten Zellen haben sich mehrfach geteilt und zeigen keine CTO-Fluoreszenz mehr. Es konnte somit bestätigt werden, dass CRBCs keine oder nur eine niedrige Proliferationsaktivität haben.

5.1.3 Charakterisierung der CRBCs über den Stammzellmarker Oct-4

Die Quantifizierung Oct-4-positiver Zellen in Kulturen nach Anreicherung von Stammzellen gestaltete sich sehr schwierig, da die Zellen nach dem Sortieren als Einzelzellen und somit eher abgekugelt vorliegen. Eine Differenzierung der (spezifischen) Antikörperbindung im Kern und der (unspezifischen) Bindung auf der Zellmembran ist dann nur schwer möglich. In Hautschnitten konnten keine Oct-4-positiven Zellen in der Epidermis nachgewiesen werden. Obwohl die Versuche in Primärkulturen darauf hinweisen, konnte nicht endgültig nachgewiesen werden, dass Oct-4 als Marker für epidermale Stammzellen eingesetzt werden kann.

5.1.4 Charakterisierung der CRBCs über die Kombination von Stammzellmarkern

Nach Etablierung eines aufwändigen Färbeprotokolls für drei Fluoreszenzfarben und eines entsprechenden durchflusszytometrischen Messprotokolls konnte in frisch isolierten epidermalen Zellen eine CD49^{bright} / CD71^{dim} Population identifiziert werden. Die so isolierte Population, die epidermale Stammzellen enthält, sowie unsortierte Zellen wurden dem CPD-Färbeprotokoll unterzogen. Der Anteil an CRBCs lag in unsortierten Zellen bei unter einem Prozent. Nach dem Sortieren zeigte sich in der Stammzellpopulation (CD71^{dim} / CD49^{bright}) ein stark erhöhter Anteil an CRBCs von 18 bis 42%. Somit konnte zum ersten Mal ein direkter Zusammenhang von CRBCs und epidermalen Stammzellen nachgewiesen werden.

5.1.5 Charakterisierung der CRBCs auf epigenetischer Ebene über Histonmethylierungsmuster

Für alle untersuchten Marker, d. h. Euchromatin- und Heterochromatinmarker (H3K4me₂ und H3K9me₃ bzw. H3K27me₃) zeigte sich in geschädigten Keratinozyten (k-CRBCs) ein niedrigerer Gehalt als in ungeschädigten Zellen. Für Melanozyten konnte ein solcher Effekt nur für H3K27me₃ nachgewiesen werden. Berücksichtigt man die für Mäusepidermis beschriebenen epigenetischen Marker für epidermale Stammzellen, so weist der oben beschriebene niedrige Gehalt an H3K4me₂ in k-CRBCs darauf hin, dass es sich hier um epidermale Stammzellen handelt. Allerdings wird im Gegensatz zu den hier dargestellten Ergebnissen in epidermalen Stammzellen der Maus ein erhöhter Gehalt des Heterochromatinmarkers H3K9me₃ gefunden. Auch eine gleichzeitige, bivalente H3K27me₃ / H3K4me₂-Markierung, die als charakteristisches Histonmuster für Stammzellen beschrieben wird, konnte nicht nachgewiesen werden.

5.1.6 Charakterisierung der CRBCs auf epigenetischer Ebene über DNA-Methylierungsmuster

Zusammenfassend ergab die Untersuchung der DNA-Methylierungsmuster eine Vielzahl von neuen Aspekten, die auf die komplexen Zusammenhänge der epigenetischen Regulierung hinweisen. Ein akuter Effekt von UV-Strahlung auf das DNA-Methylierungsmuster einer Zelle konnte in den Versuchen nicht nachgewiesen werden. Am Beispiel von HIC1, konnte gezeigt werden, dass die Methode der methylierungsspezifischen PCR äußerst genaue Messungen ermöglicht. So konnten bei der vergleichenden Messung in Keratinozytenzelllinien, Plattenepitheltumorzellen und primären Keratinozyten auch geringe Unterschiede in der DNA-Methylierung in einer methylspezifischen Sequenzierung verifiziert und schließlich mit der HIC-Expression korreliert werden. Hier ist insbesondere die hohe Expression von HIC1 in primären Keratinozyten im Vergleich zu den Tumorzellen und den Zelllinien zu erwähnen. Die DNA-Methylierung der HIC1-Promotorregion könnte als „epigenetische Mutation“ einen frühen Schritt in der Hautkrebsentstehung darstellen.

Durch vergleichende Untersuchung von Zellpopulationen, in denen Stammzellen durch Collagensorting angereicherten wurden, mit der „Restpopulation“ konnten weder bei der genspezifischen noch bei der genomweiten Bestimmung der DNA-Methylierung eindeutige epigenetische Charakteristika für epidermale Stammzellen identifiziert werden. Auch die Untersuchungen der durch Flowsorting isolierten Zellpopulationen, in denen epidermale Stammzellen bzw. CRBC angereichert wurden, ergaben auf DNA-Methylierungsebene kein charakteristisches Muster. Darüber hinaus wurde auch bei Betrachtung einzelner Daten keine Übereinstimmung zwischen den mit Collagensorting angereicherten ungeschädigten Stammzellpopulation und den durch Flowsorting angereicherten (zum Teil geschädigten) CRBC / Stammzellpopulation gefunden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Populationen nach unterschiedlichen Kriterien (Collagenbindung versus α_6^{bri} / CD71^{dim}) sortiert wurden. Da außerdem jeweils nur eine Anreicherung der Zellen erreicht wurde, konnten möglicherweise keine spezifischen Unterschiede zwischen Stammzellpopulation und „Restpopulation“ identifiziert werden. Die Daten spiegeln die äußerst komplexen und bisher noch wenig aufgeklärten epigenetischen Regulationsmechanismen wieder. Besonderes Augenmerk sollte auf die, wenn auch geringen, Veränderungen im DNA-Methylierungsmuster der untersuchten Zellen gelegt werden, da davon auszugehen ist,

dass die sensitive Methode der methylspezifischen PCR hier wichtige Mechanismen erfasst. Weiterentwickelte Sortierungsmethoden, wie z. B. eine DNA-basierte Chromatin-Immunpräzipitation könnten hier in einem Folgeprojekt eingesetzt werden.

5.2 UNTERSUCHUNG DES WEITEREN SCHICKSALS VON k-CRBCs UND m-CRBCs

5.2.1 Untersuchungen in Hautschnitten

In der Basalzellschicht von bestrahlter Haut konnten 2 oder 6 Wochen nach Bestrahlung keine p53-mutierten Zellen detektiert werden. Auch apoptotische Zellen korrelierten nicht mit CRBCs (Abbildung 1).

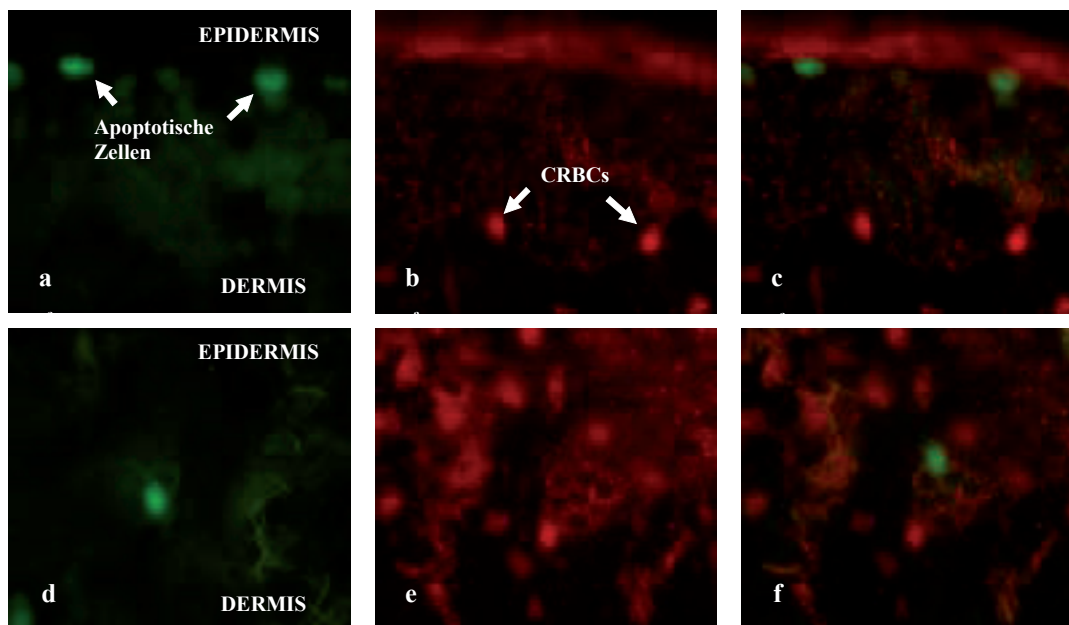


Abbildung 1:

Doppelfärbung spätapoptotischer (TUNEL Assay, grün) und CPD geschädigter Zellen (rot). Der Hautschnitt zeigt sechs Wochen nach Abschluss chronischer SSR Bestrahlung apoptotische Zellen ohne CPDs im Übergang zur Hornschicht (a) und CPD geschädigte Zellen in der Basalzellschicht, die nicht apoptotisch sind (b) (c : a + b). Als seltenes Ereignis wurde eine apoptotische Zelle in der Basalzellschicht detektiert (d). Die CPD Färbung (e) zeigt, dass es sich bei dieser Zelle nicht um eine CRBC handelt (f : d + e)

5.2.2 Untersuchungen im In-vitro-System (Zellkultur)

Zusammengefasst konnte mit den Versuchen gezeigt werden, dass in Kultur induzierte CRBCs bis zu 72 h und mit TPA-Behandlung bis zu 96 h nach Bestrahlung noch zur Zellteilung fähig sind. Während ein Großteil der Zellen vor der Teilung die Schäden repariert, ist es auch möglich, dass die Schäden an die Tochterzellen weitergegeben werden. Das vereinzelte Auftreten asymmetrischer Teilungen weist darauf hin, dass es sich bei einem Teil der CRBCs um geschädigte epidermale Stammzellen handelt, die dann eine zentrale Rolle bei der Hautkrebsentstehung einnehmen. Insbesondere konnte in vitro gezeigt werden, dass das Schicksal von CRBCs in Bezug auf den Umgang mit DNA-Schäden sehr unterschiedlich sein kann. Es ist zu vermuten, dass dies einen großen Einfluss darauf hat, ob aus einer CRBC Hautkrebs entsteht.

5.3 UNTERSUCHUNG DER WIRKUNG VERSCHIEDENER EXPOSITIONSPARAMETER AUF DIE INDUKTION UND DAS WEITERE SCHICKSAL VON k- UND m-CRBCs UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER STRAHLENQUALITÄTEN IM SOLARIUM

5.3.1 Induktion von CRBCs durch UVA-Strahlung

In zwei UVA-bestrahlten Hautproben ergab sich eine Induktion von 8,9 bzw. 9,6% CRBCs bezogen auf die ausgewerteten Basalzellen mit jeweils etwa 30% m-CRBCs und 70% k-CRBCs.

5.3.2 Einfluss von Vorbestrahlung mit UVA auf die Induktion von CRBCs durch SSR

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Anzahl an SSR-induzierten melanozytären CRBCs in Hautschnitten durch eine Vorbestrahlung mit UVA erhöht werden kann. Für CRBCs keratinozytären Ursprungs zeigt sich eine ähnliche, aber schwächere Tendenz. Der starke Effekt einer UVA-Vorbestrahlung auf Melanozyten könnte mit dem photosensibilisierenden Effekt von Pheomelanin, das in Melanozyten neben Eumelanin vorkommt, zusammenhängen. UVA schädigt die DNA indirekt über die Anregung intrazellulärer Photosensibilatoren, zu denen auch Pheomelanin gehört, und daraus resultierenden reaktiven Sauerstoffspezies. Dieser Effekt führt zu einer erhöhten Empfindlichkeit von Melanozyten gegenüber UVA-Strahlung, die letztendlich auch mit der Entstehung des malignen Melanoms in Zusammenhang gebracht wird. Der hier gezeigte deutliche Effekt einer UVA-Vorbestrahlung auf die Induktion von melanozytären CRBCs gewinnt an Bedeutung, wenn man in Betracht zieht, dass Solarien einen im Vergleich zur Sonne stark überhöhten Anteil an UVA-Strahlung aufweisen. Dies insbesondere, da in einem systematischen Review gezeigt wurde, dass die regelmäßige Nutzung eines Solariums vor dem 35. Lebensjahr das Risiko, im späteren Leben am malignen Melanom zu erkranken, um 75% erhöht.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Ziel des Vorhabens war zum Einen die genauere Charakterisierung der schwer geschädigten Zellen (CRBCs), die nach einer UV-Bestrahlung relativ lange in der Epidermis erhalten bleiben, und die Untersuchung der weiteren Schritte auf dem möglichen Weg von CRBCs zu Hautkrebszellen. Auf Grund der Komplexität dieser Vorgänge konnte das Ziel nicht vollständig erreicht werden, so dass weitere Untersuchungen erforderlich sind. Bemerkenswert sind besonders die Ergebnisse, dass auch UVA-Strahlung CRBCs induziert und dass eine Vorbestrahlung mit UVA die Anzahl der durch eine nachfolgende Exposition mit sonnenähnlicher Strahlung induzierten CRBCs erhöht. Besonders bedenklich ist, dass durch UVA-Strahlung vor allem die Zahl der CRBCs erhöht wurde, die von Melanozyten abstammen. Da in Solarien der Anteil an UVA-Strahlung gegenüber dem Sonnenlicht erhöht ist, lässt sich damit der in epidemiologischen Studien gefundene Zusammenhang zwischen regelmäßigen Solarienbesuchen vor dem 35. Lebensjahr und dem Risiko, später an dem besonders bösartigen malignen Melanom zu erkranken, plausibel erklären. Obwohl die Ergebnisse einer weiteren Abklärung bedürfen, liefern sie weitere gewichtige Argumente gegen die Solariennutzung, die für die Information der Bevölkerung eingesetzt werden können.

Thema Bestimmung der Exposition durch Magnetfelder alternativer Antriebskonzepte			
Subject <i>Determination of exposure against magnetic fields caused by electric and hybrid drive concepts</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3608S04574	Beginn 01.04.2008	Ende 31.03.2009	Fördermittel EUR 99.330,-
Forschungs- / Auftragnehmer Seibersdorf Labor GmbH, Seibersdorf, Österreich			
Projektleitung G. Schmid	Fachbetreuung BfS D. Geschwentner / AG-SG 1.2		verantwortlich für den Text G. Schmid

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Forschungsvorhabens war es, eine Datengrundlage für zu erwartende Magnetfeldexpositionen von Personen in Kraftfahrzeugen mit alternativen, auf elektrischen Maschinen basierenden Antriebskonzepten zu schaffen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Folgende Einzelzielsetzung wurde aus dem Gesamtprojektziel abgeleitet:

- Bestandsaufnahme bezüglich relevanter Antriebstechnologien und Fahrzeuge,
- Bestandsaufnahme / Entwicklung von praxistauglichen Mess- und Berechnungsverfahren,
- Immissionsmessungen und -berechnungen in ausgewählten Fahrzeugen,
- Bewertung der Mess- und Berechnungsergebnisse.

3. METHODIK

3.1 Bestandsaufnahme bezüglich relevanter Antriebstechnologien und verfügbarer Fahrzeuge

Im ersten Arbeitsschritt erfolgte eine Recherche hinsichtlich relevanter Technologien und bereits verfügbarer Fahrzeuge. Parallel dazu erfolgte die Kontaktaufnahme zu Herstellern, Händlern und Betreibern der erhobenen und für das Vorhaben interessant erscheinenden Fahrzeuge, um deren Verfügbarkeit für die Durchführung von Immissionsmessungen abzuklären. Als in Betracht zu ziehende Fahrzeugkategorien wurden fünf unterschiedliche PKWs, ein Nahverkehrsbus und zwei Nutzfahrzeuge festgelegt.

3.2 Bestandsaufnahme / Entwicklung von praxistauglichen Messverfahren

Um bestmögliche Voraussetzungen für die frequenzselektiven Immissionsmessungen in den Fahrzeugen zu schaffen, wurden unterschiedliche, am Markt verfügbare Messverfahren systematisch verglichen.

Zusätzlich zur Optimierung der Messgerätetechnik wurde auch die notwendige Messmethode erarbeitet, um zuverlässige und repräsentative Immissionsmessungen durchführen zu können.

3.3 Immissionsmessungen und -berechnungen

Für die untersuchten PKWs wurden einerseits Immissionsmessungen unter definierten stationären Betriebsbedingungen auf einem Leistungsprüfstand durchgeführt, bei denen der gesamte Leistungsbereich (Geschwindigkeits-Lastmoment-Kombinationen) der Fahrzeuge abgedeckt werden konnte. Andererseits erfolgten Messungen während Testfahrten im Realverkehr und insbesondere während definierter Brems- und Beschleunigungsmanöver. Etwaige, von einer Magnetisierung der Reifen stammende, Magnetfeldanteile wurden durch spezielle Vorversuche identifiziert und aus den Messergebnissen eliminiert, um ausschließlich die ursächlich den Antriebskomponenten zuzuschreibenden Magnetfelder beurteilen zu können. Auf Basis der Messdaten vom Leistungsprüfstand und aus den Brems- und Beschleunigungsmanövern konnten schließlich Immissionsprognosemodelle für jeden der untersuchten PKWs für beliebige Fahrzyklen entwickelt werden.

Die Validierung dieser Immissionsprognosemodelle erfolgte auf Basis der Messfahrten im Realverkehr. Als messtechnisch zu untersuchende Positionen in den PKWs wurden der Fahrer- und der Beifahrerplatz sowie jeweils ein Sitzplatz im Fond der Fahrzeuge definiert, wobei jeweils die räumliche Verteilung der Magnetfeldimmissionen (12 Einzelmesspunkte) auf jeder untersuchten Position erfasst wurde. Der untersuchte Sitzplatz im Fond der Fahrzeuge wurde auf Basis von Übersichtsmessungen auf der Rückbank nach dem Gesichtspunkt der Erfassung der Maximalexposition ausgewählt.

Für die Fahrzeuge der Kategorien Nahverkehrsbus und Nutzfahrzeuge standen keine entsprechenden Leistungsprüfstände zur Verfügung. Die Immissionsmessungen fanden daher während repräsentativer Testfahrten mit den jeweiligen Fahrzeugen statt. In den Nutzfahrzeugen wurde dabei jeweils die räumliche Magnetfeldverteilung am Fahrerplatz und im Nahverkehrsbus sowohl am Fahrerplatz als auch an weiteren vier ausgewählten Fahrgastplätzen (drei davon in unmittelbarer Nähe der Antriebskomponenten) untersucht.

3.4 Bewertung der Mess- und Berechnungsergebnisse

Alle erhobenen Messergebnisse wurden zunächst hinsichtlich der Referenzwerte der ICNIRP-Leitlinien von 1998 strahlenschutztechnisch bewertet, wobei die Bewertung auf Basis einer phasenrichtigen Summierung der Einzelspektralkomponenten erfolgte, um systematische Überschätzungen der Immissionen zu vermeiden. Weiterhin erfolgte ein Vergleich der in den Fahrzeugen mit alternativen Antriebskonzepten erhobenen Immissionsdaten mit aus der Literatur vorliegenden Daten aus etablierten elektrisch betriebenen Transportmitteln (Eisenbahn, S-Bahn, U-Bahn, Straßenbahn). Schließlich wurden die im Rahmen des Vorhabens messtechnisch erhobenen Immissionsdaten hinsichtlich einer möglichen Gefährdung von Personen mit elektronischen Körperhilfsmitteln gemäß E DIN VDE 0848-3-1 bewertet.

4. DURCHFÜHRUNG

Als für die gegenständliche Fragestellung interessante Antriebstechnologien konnten im Rahmen der Bestandsaufnahme Elektro-Hybridantriebe (gegenwärtig bereits eingesetzt bei PKWs, Nahverkehrsbussen und Nutzfahrzeugen) und reine Elektroantriebe (PKWs und diverse Nutzfahrzeuge) identifiziert werden.

Auf Grund der großen Flexibilität hinsichtlich der verfügbaren Messparameter und der Messdatenaufbereitung und -auswertung wurde das im eigenen Haus entwickelte Messsystem NIFSPEC in Kombination mit kommerziell erhältlichen Magnetfeldsonden mit Echtzeit-Analogausgängen (Narda ELT 400 und Chauvin Arnoux C.A42) als für die Aufgabenstellung am besten geeignet befunden. Es konnte damit der relevante Frequenzbereich bis 100 kHz in ausreichender Auflösung (1 Hz) vollständig abgedeckt werden und es erlaubte die schnelle Erfassung (Speicherung) von wiederholten Einzelmessungen, wie sie während der Testfahrten notwendig war.

Als zu untersuchende PKWs konnten drei Hybridfahrzeuge (Toyota Prius, Honda Civic, Lexus GS450h), sowie zwei Elektroautos (Panda Electric, Doblo Electric) für Messungen unter stationären Bedingungen auf dem Leistungsprüfstand (Abbildung 1), sowie für Messfahrten im Realverkehr verfügbar gemacht werden. Zusätzlich wurden Messungen in einem Hybrid-Nahverkehrsbus (Urbino 18 Hybrid, Fa. Solaris), einem Hybrid-LKW (Atego Blue TEC Hybrid, Fa. Daimler) und einem Elektroschlepper (Modell 780, Fa. PEFRA), während repräsentativer Testfahrten durchgeführt (siehe Abbildung 2 und Tabelle 1).

Die auf Basis der Messdaten vom Leistungsprüfstand und aus den Brems- und Beschleunigungsmanövern für jeden der untersuchten PKWs entwickelten Immissionsprognosemodelle wurden mit dem Softwarepaket SIMULINK realisiert.

Tabelle 1: Messtechnisch untersuchte Fahrzeuge

Fahrzeug	Hersteller	Leistungsprüfstand	Messfahrt
Toyota Prius	Toyota	X	X
Honda Civic IMA	Honda	X	X
Lexus GS450h	Lexus	X	X
Panda Electric	NEWTEON	X	X
Doblo Electric	NEWTEON	X	X
Urbino 18 Hybrid	Solaris Bus & Coach	-	X
Atego Blue TEC Hybrid	Daimler	-	X
Elektroschlepper 780	PEFRA	-	X



Abbildung 1: Immissionsmessungen am Leistungsprüfstand mit dem Toyota Prius



Abbildung 2: Untersuchter Nahverkehrsbus und untersuchte Nutzfahrzeuge

5. ERGEBNISSE

5.1 Magnetfeldimmissionen in den untersuchten PKWs

Abbildung 3 fasst die in den untersuchten PKWs unter stationären Lastbedingungen am Leistungsprüfstand gemessenen Immissionen zusammen.

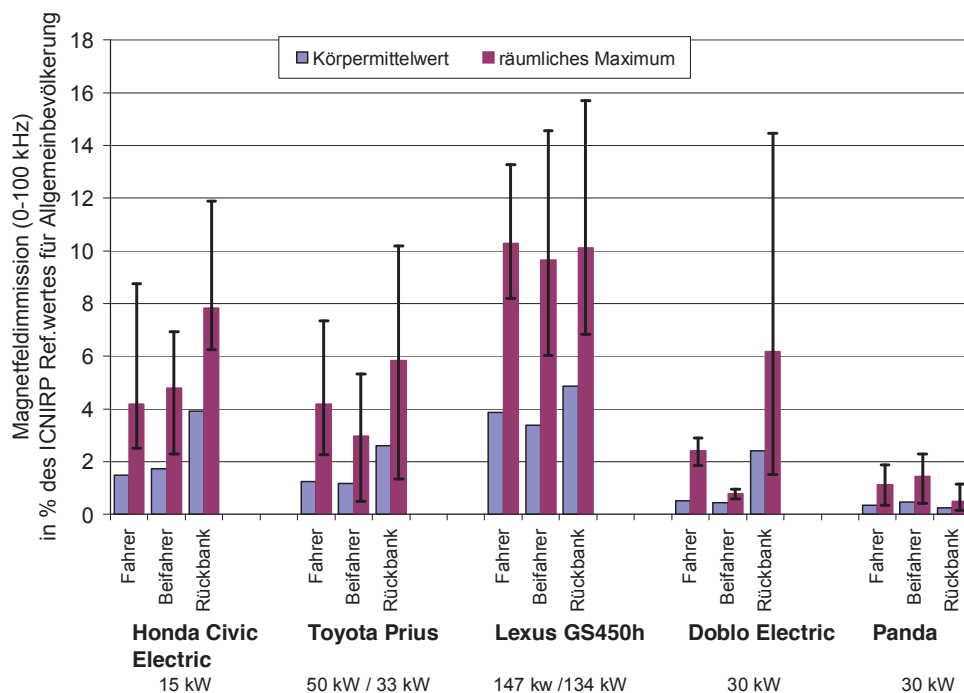


Abbildung 3: Immissionen in den PKWs unter stationären Lastverhältnissen

Unterhalb der Fahrzeugbezeichnung ist die jeweils installierte Leistung der elektrischen Antriebskomponenten angegeben. Die Fehlerindikatoren zeigen den Variationsbereich der Maximalimmissionen in Abhängigkeit des Lastzustandes (Geschwindigkeit und Lastmoment). Auf dem Fahrer- und Beifahrerplatz traten räumliche Maxima zumeist im Fuß- oder Unterschenkelbereich auf. Auf der Rückbank lag das räumliche Maximum der Immissionen, bedingt durch die Lage der Batterie (im Heck des Fahrzeugs) und die Verkabelung, zumeist im Unterleibsbereich.

In ähnlicher Weise illustriert Abbildung 4 die Immissionen in den PKWs bei Brems- und Beschleunigungsmanövern.

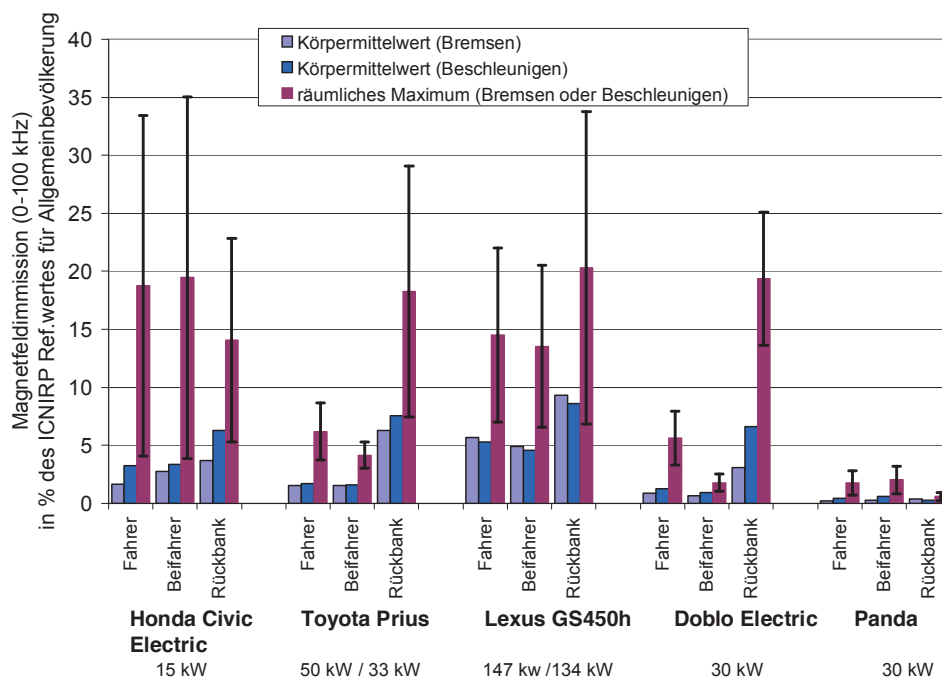


Abbildung 4: Immissionen in den PKWs während Brems- und Beschleunigungsmanövern

In keinem der untersuchten PKWs konnten Überschreitungen der ICNIRP-Referenzwerte festgestellt werden. Die beobachtbaren, lokal auftretenden Spitzenimmissionen beim Bremsen bzw. Beschleunigen erreichten, abhängig vom Fahrzeug und vom untersuchten Sitzplatz, Werte von bis zu ca. 35% der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung. Des Weiteren zeigen die Messdaten, dass die Größe der installierten elektrischen Leistung in den Fahrzeugen kein adäquates Maß für die zu erwartende Exposition in den Fahrzeugen darstellt, sondern dass vielmehr die individuelle Anordnung der Systemkomponenten sowie die Verkabelung zwischen den Komponenten relevant sind.

5.2 Magnetfeldimmissionen im Nahverkehrsbus

Abbildung 5 zeigt die Messergebnisse im Hybrid-Nahverkehrsbus Urbino 18 Hybrid während repräsentativer Messfahrten. Die Immissionen am Fahrerplatz wurden bezüglich beruflicher Exposition, jene auf den Passagierplätzen hinsichtlich der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung bewertet. Die Fehlerbalken zeigen den Variationsbereich der Immissionen während der Messfahrten. Auf Passagierplätzen in unmittelbarer Nähe der elektrischen Antriebskomponenten traten lokal Immissionswerte bis zu ca. 19% des Referenzwertes auf (vor allem nahe zum Inverter). An Plätzen in größerer Entfernung zu den Komponenten lagen die Immissionen kaum merkbar über dem allgemeinen Immissionshintergrund.

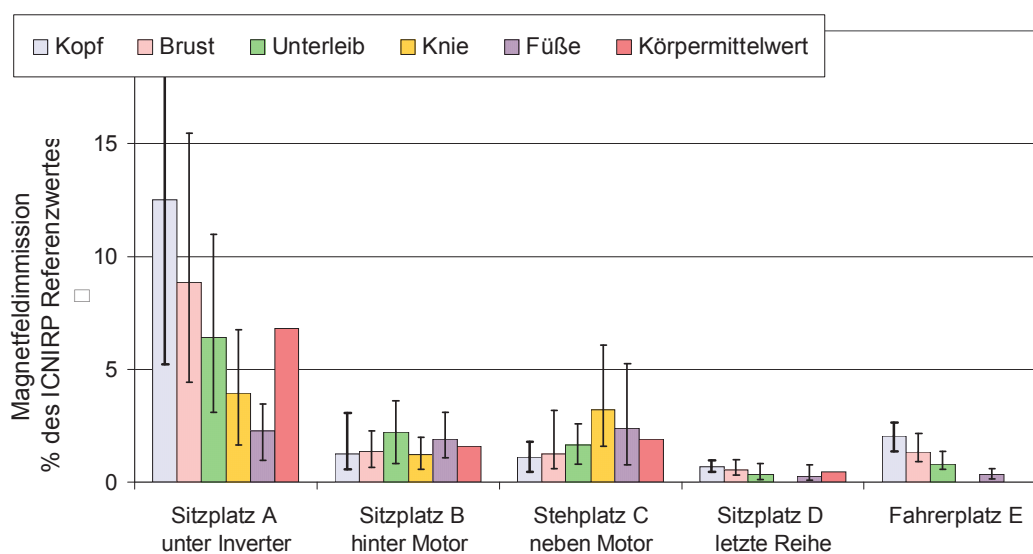


Abbildung 5: Immissionen im Hybrid-Nahverkehrsbus während repräsentativer Messfahrten

5.3 Magnetfeldimmissionen in den untersuchten Nutzfahrzeugen

Abbildung 6 zeigt die Messergebnisse im Atego Blue TEC Hybrid LKW während repräsentativer Messfahrten. Auf Grund der großen Distanzen zwischen dem Fahrerplatz und den Antriebskomponenten blieben die Immissionen im Normalbetrieb auch lokal typischer Weise kleiner als 1% des Referenzwertes für berufliche Exposition. Der einzige in Abbildung 6 sichtbare Spitzenwert größer als 1% trat während einer Notbremsung auf.

Die am Fahrerplatz des untersuchten Elektroschleppers 780 gemessenen Immissionen während Testfahrten mit einer Zuglast von ca. 9 t sind in Abbildung 7 dargestellt. Auch in diesem Fall blieben die lokalen Immissionen am Fahrerplatz unterhalb von 1% des Referenzwertes für berufliche Exposition.

5.4 Vergleich mit etablierten bzw. konventionellen Fahrzeugen

Die in den untersuchten PKWs gemessenen Spitzenimmissionswerte liegen etwa in der gleichen Größenordnung wie in der Literatur angegebene Spitzenimmissionswerte in etablierten elektrischen Verkehrsmitteln (Bahn, S-Bahn, U-Bahn). Auf Grund der innerhalb der PKWs im Allgemeinen geringeren Distanz zu den Feld erzeugenden Komponenten im Vergleich zu den genannten etablierten Verkehrsmitteln sind die in PKWs zu erwartenden Feldgradienten wesentlich größer. Damit können die Immissionen in den (großräumigen) etablierten Verkehrsmitteln im Allgemeinen als homogener und damit, gemittelt über Körperdimensionen, als durchschnittlich etwas höher angesehen werden als in den untersuchten Hybrid- und Elektrofahrzeugen.

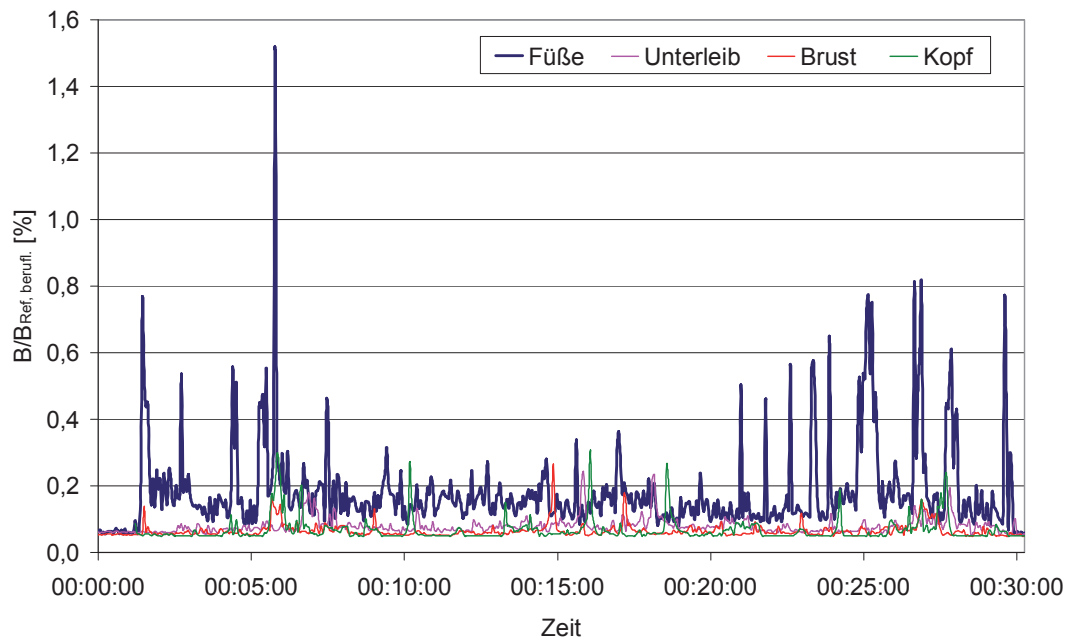


Abbildung 6: Immissionen am Fahrerplatz des Atego Blue TEC Hybrid LKWs

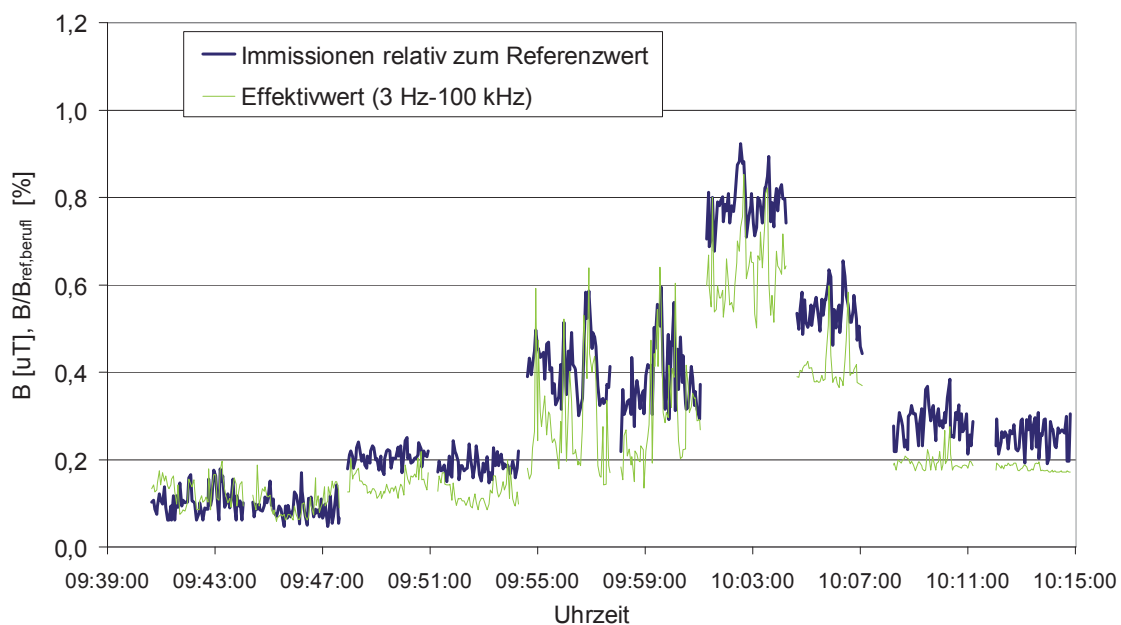


Abbildung 7: Immissionen am Fahrerplatz des untersuchten Elektroschleppers

Auch die im Hybrid-Nahverkehrsbus erhobenen Immissionswerte liegen in ähnlichen Größenordnungen, wie sie aus Fahrgasträumen von U-Bahn und S-Bahn aus der Literatur bekannt sind. Auch hier kann jedoch angenommen werden, dass die Immissionsverteilung im Hybrid-Nahverkehrsbus etwas inhomogener ist als in U-Bahn- und S-Bahnwagen, wo schon allein durch die Oberleitung bzw. Stromschiene ein relevanter, relativ homogener Immissionsanteil vorliegt.

5.5 Bewertung der Immissionen im Hinblick auf Personen mit elektronischen Körperhilfsmitteln

Auf Basis des in E DIN VDE 0840-3-1 definierten Verfahrens zur Beurteilung möglicher Gefährdungen von Personen mit elektronischen Körperhilfsmitteln durch magnetische Felder ergaben sich aus den in den Fahrzeugen erhobenen Immissionsdaten keinerlei Hinweise auf ein mögliches Gefährdungspotenzial für Herzschrittmacherpatienten durch die von den alternativen Antriebssystemen erzeugten magnetischen Felder.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Mit Hilfe des Projekts konnten Daten über maximal mögliche und durchschnittlich zu erwartende Expositionen der allgemeinen Bevölkerung durch eine Technologie gewonnen werden, deren zunehmende Verbreitung in absehbarer Zukunft zu erwarten ist. Ziel des „Entwicklungsplans Elektromobilität“ der Bundesregierung ist es z. B., dass bis zum Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf den bundesdeutschen Straßen fahren. Um dies zu erreichen, sollen Forschung und Entwicklung, Marktvorbereitung und -einführung von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen in Deutschland vorangebracht werden. Die Zahl möglicherweise exponierter Personen wird sich entsprechend entwickeln. Die Projektergebnisse können daher der frühzeitigen Information interessierter Bevölkerungsteile und anderer Stellen dienen und in geeignete Informationsmaterialien einfließen. Neben BMWi, BMVBS und BMBF ist das BMU an der Umsetzung des „Entwicklungsplans Elektromobilität“ beteiligt. Die Ergebnisse können dem BMU daher auch als Ansatzpunkt für die weitere Planung der im Entwicklungsplan vorgesehenen Forschungsaktivitäten im Bereich des Schutzes der Gesundheit im Zusammenhang mit den elektrischen Komponenten im Fahrzeug dienen.

Thema Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks 2009			
Subject <i>Identifying the general public's fears and anxieties with regard to possible risks of high frequency electromagnetic fields of mobile telecommunications 2009</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3609S80001	Beginn 01.06.2009	Ende 15.10.2009	Fördermittel EUR 71.019,-
Forschungs- / Auftragnehmer infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, Bonn			
Projektleitung J. Belz, M. Hartmann	Fachbetreuung BfS C. Pölzl, C. Egblomassé-Roidl / AG-SG 1.4		verantwortlich für den Text J. Belz, M. Hartmann

1. ZIELSETZUNG

Unter dem Titel „Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks“ untersucht das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) das Ausmaß und die Art möglicher Besorgtheiten und Beeinträchtigungen der Bürgerinnen und Bürger. In den Vorgängerstudien zur aktuellen Untersuchung hat infas für das BfS in den Jahren 2003 bis 2006 insgesamt 10.020 Bürgerinnen und Bürger ab 14 Jahre in jährlichen repräsentativen telefonischen Erhebungen befragt. Im Jahr 2009 wurde diese Studie erneut durchgeführt, um Informationen über das aktuelle Meinungsbild der Bevölkerung zu erhalten und die begonnene Zeitreihe fortzuführen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Studie hat sich zum Ziel gesetzt, das Ausmaß der gesundheitlichen Sorgen bzw. empfundenen Beeinträchtigungen der Bevölkerung durch hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks (HF-EMF) zu erheben und im Zeitvergleich zu untersuchen. Neben der Einschätzung der Risikowahrnehmung verschiedener Quellen für HF-EMF im Kontext anderer möglicher Umwelt- und Gesundheitsbelastungen soll die Studie Aufschluss über generelle Mobilfunknutzungsgewohnheiten und die Einstellung zu diesen Themen liefern. Zur Optimierung der Informationsverbreitung durch das BfS werden Informationsstand und -verhalten sowie die Interessenslage in der Bevölkerung thematisiert. In einem multivariaten statistischen Modell werden Einflüsse von soziodemographischen Strukturmerkmalen und ausgewählten inhaltlichen Merkmalen auf die Besorgtheit der Bevölkerung untersucht. In einem abschließenden Schritt wird die Bevölkerung auf Basis der vorliegenden Erhebungsdaten mit Hilfe des Verfahrens der Clusteranalyse in drei Gruppen unterteilt, um mögliche Anhaltspunkte für eine zielgruppengerechte Öffentlichkeitsarbeit zu gewinnen.

3. METHODIK

Die Bevölkerungsumfrage wurde als telefonische CATI-Befragung (Computer Assisted Telephone Interview) im hauseigenen Telefonstudio von infas in Bonn durchgeführt. Für die Stichprobe wurde ein Ansatz auf Basis zufällig generierter Telefonnummern gewählt, um eingetragene und nicht eingetragene Telefonhaushalte mit im Prinzip gleicher Inklusionswahrscheinlichkeit berücksichtigen zu können. Die Ziehung der bundesweiten Telefonstichprobe in der vorliegenden Studie erfolgte regional geschichtet nach Bundesländern.

Zielgruppe war die in Privathaushalten lebende Wohnbevölkerung der Bundesrepublik Deutschland. Die eigentliche Zielperson im Haushalt wurde nach einem Zufallsverfahren, dem so genannten „Last-Birthday-Verfahren“ ausgewählt. Unter allen Haushaltsmitgliedern, die die entsprechenden Kriterien erfüllen, in diesem Falle ein Mindestalter von 14 Jahre, wurde diejenige Person befragt, die zuletzt Geburtstag hatte. Die Befragungsergebnisse wurden in tabellarischer Form aufbereitet und in einem Gesamtbericht dargestellt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 DATENERHEBUNG UND -ANALYSE

Die Bevölkerungsbefragung wurde mit n=2.502 realisierten Interviews und einer durchschnittlichen Interviewlänge von etwa 22 Minuten durchgeführt. Der Befragungs-Zeitraum lag zwischen Ende Mai und Anfang Juli 2009.

Für die Durchführung der Befragung wurden insgesamt 37.998 Adressen eingesetzt. Auf Grund des gewählten Stichprobenansatzes entfiel ein entsprechend hoher Anteil von 21.137 Adressen auf so genannte stichprobenneutrale Ausfälle (Telefonnummern, die zu keinem Anschluss bzw. keinem Privathaushalt führen, nicht befragbare Personen). Aus den verbleibenden 16.861 Telefonnummern wurden insgesamt 2.502 Interviews realisiert.

Vor Beginn des Hauptfeldes fand eine Vorstudie statt, bei der etwa 20 so genannte Pretestfälle realisiert wurden. Dieser Pretest diente der Überprüfung des Fragebogens auf seine Verständlichkeit hin und der Abschätzung der tatsächlichen Interviewdauer, so dass vor Start des Hauptfeldes noch letzte Optimierungsmaßnahmen unternommen werden konnten. Um die Interviewer optimal auf Inhalte und mögliche Schwierigkeiten der Studie vorzubereiten, wurde eine studienspezifische Interviewerschulung durchgeführt. Während des Hauptfeldes standen den Interviewern permanent Ansprechpartner, sowohl auf Seiten der Projektleitung als auch auf Seiten der Supervision, zur Verfügung. Durch die Projektleitung fand weiterhin eine kontinuierliche Ausschöpfungskontrolle statt, um gegebenenfalls Steuerungsmaßnahmen in die Wege leiten zu können.

4.2 FRAGENPROGRAMM

Der Fragebogen blieb weitestgehend identisch über alle Befragungswellen. Im Jahr 2009 umfasste der Fragenkatalog folgende Inhalte:

- Kontaktaufnahme mit dem Haushalt und Auswahlsschlüssel „Last Birthday“,
- Allgemeine Einordnung der Person: Interessen, Gesundheitszustand, Risikobewertung zu verschiedenen Einflüssen, u. a. Mobilfunk,
- Nutzung von Handy und Schnurlostelefon, Mobilfunk-Sendeanlagen in Wohnumgebung,
- Grad der Besorgtheit und der Beeinträchtigung wegen elektromagnetischer Felder des Mobilfunks, Bezug auf verschiedene Quellen der Felder, Arten der Beeinträchtigung,
- Vorsorgeverhalten im Hinblick auf elektromagnetische Felder des Mobilfunks,
- Befürchtungen bezüglich der im Haushalt lebenden Kinder und deren Kontakt mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks,
- Subjektiver Informationsstand, Informationsverhalten und Interesse bezüglich elektromagnetischer Felder,
- Einstellung gegenüber Handys und Mobilfunk im Allgemeinen,
- Soziodemographie.

5. ERGEBNISSE

5.1 RAHMENDATEN ZUR MOBILFUNKNUTZUNG DER BEVÖLKERUNG

Sowohl die Nutzung von Handys als auch von schnurlosen Festnetztelefonen hat in der Bevölkerung im Vergleich zur letzten Befragung im Jahr 2006 signifikant zugenommen und liegt aktuell bei 88 bzw. 91%. Wie auch in den Untersuchungsjahren 2003 bis 2006 übertrifft dabei der Anteil der Nutzer von schnurlosen Festnetztelefonen den Anteil der Handynutzer.

Der Anteil der männlichen Handynutzer liegt mit 86% über dem Anteil der weiblichen Nutzer (76%). Darüber hinaus ist festzuhalten, dass ältere Personen das Handy seltener nutzen als junge Bevölkerungsgruppen. Auch in der Nutzung neuer Funktechnologien erweisen sich jüngere Befragte als die intensiveren Nutzer.

Zusätzlich zur Verbreitung des Handys ist auch dessen durchschnittliche Nutzungsdauer leicht angestiegen, wenngleich es sich hierbei nicht um eine signifikante Veränderung handelt. Wurde 2006 noch durchschnittlich 22,5 Minuten pro Nutzungstag telefoniert, so liegt dieser Wert mittlerweile bei 28,1 Minuten.

Hinter der Nichtnutzung von Mobiltelefonen steht nicht zwingend die Ablehnung dieses Kommunikationsmittels. Vielmehr begründet mehr als die Hälfte aller Nicht-Handynutzer (52%) ihren Verzicht durch einen mangelnden Bedarf.

Der Anteil derer, die das Handy sowohl privat als auch beruflich nutzen, ist gegenüber 30% (2006) signifikant auf einen Anteil von 34% gestiegen. Besondere Bedeutung kommt der Nutzung des Handys weiterhin zu beruflichen Zwecken und zur Abstimmung innerhalb der Familie zu.

Die Hälfte aller Befragten gibt an, dass sich im Umkreis von etwa fünf Kilometern um ihre Wohnung der Standort eines Mobilfunk-Sendemastes oder einer Mobilfunksendeanlage befindet. Ein beachtlicher Anteil der Befragten ist sich jedoch eher unsicher (36%) oder sogar sehr unsicher (21%), dass sie eine Mobilfunksendeanlage auf den ersten Blick erkennen würden.

5.2 STELLENWERT DES MOBILFUNKS ALS POTENZIELLER RISIKOFAKTOR

Aspekte, die das Thema elektromagnetische Strahlung betreffen, nehmen innerhalb einer Reihe von potenziellen gesundheitlichen Risikofaktoren in der Wahrnehmung der Bevölkerung eher eine untergeordnete Stellung ein. Dabei werden Mobilfunksendemasten (28% starke oder ziemliche Sorgen) noch als vergleichsweise besorgniserregender wahrgenommen, als die Nutzung von Handys (20%) und Schnurlostelefonen (17%). Mit Abstand bedrohlicher erscheint der Bevölkerung jedoch der Verzehr von Fleisch aus unbekannter Herkunft, gefolgt von gentechnisch veränderten Lebensmitteln, Luftverschmutzung, Nebenwirkungen von Medikamenten, UV-Strahlung, starkem Zigarettenrauchen und übermäßigem Alkoholgenuss.

Gegenüber 2006 hat sich der Anteil der Besorgten wegen des Verzehrs von Fleisch aus unbekannter Herkunft, gentechnisch veränderten Lebensmitteln, Nebenwirkungen von Medikamenten, starken Zigarettenrauchens, übermäßigem Alkoholgenuss, Benutzung von Handys, Hochspannungsleitungen sowie wegen der Benutzung von schnurlosen Festnetztelefonen statistisch signifikant erhöht. Das Jahr 2006 war allerdings charakterisiert durch ein insgesamt niedrigeres Besorgtheitspotential, als in den Vorjahren 2003 bis 2005 gemessen wurde.

Im Hinblick auf die untersuchten mobilfunkrelevanten Risikofaktoren sind im Zeitvergleich jeweils um wenige Prozentpunkte schwankende Resultate zur Besorgtheit über Mobilfunksendeanlagen oder Handys festzuhalten (mit höheren Werten in 2003, 2005 und 2009) sowie eine leichte Zunahme der Besorgtheit über schnurlose Festnetztelefone in 2009 gegenüber allen übrigen Befragungsjahren.

5.3 INFORMATIONSTAND UND -VERHALTEN BEZÜGLICH ELEKTROMAGNETISCHER FELDER

Die Ergebnisse der aktuellen Studie legen nahe, dass sich die Bevölkerung stärker noch als vor wenigen Jahren mit dem Thema elektromagnetische Felder auseinandersetzt. Sowohl der Anteil derer, die sich vor der Befragung bereits mit dem Thema beschäftigt hatten, als auch die Selbsteinschätzung zur Informiertheit über dieses Thema sind im Vergleich zu den Ergebnissen im Jahr 2006 signifikant angestiegen. Auch im Vergleich zu den Messergebnissen der Jahre 2003 bis 2005 ist bislang der höchste Grad an Beschäftigung mit diesem Thema zu verzeichnen. 33% der Befragten äußern sogar den Wunsch nach weiteren Informationen zu diesem Thema. Im Hinblick auf die bevorzugten Themen stoßen insbesondere die Einschätzungen gesundheitlicher Risiken auf ein breites Interesse.

Dies findet sich auch in dem Resultat wieder, dass knapp 40% der Bevölkerung mit dem derzeitigen Angebot an verfügbaren Informationen zu gesundheitlichen Risiken durch EMF nicht so sehr oder überhaupt nicht zufrieden sind. Als Hauptursache für diese Stimmungslage wird angeführt, die Informationen seien nicht ausreichend.

Zur Informationsvermittlung über EMF kommen bislang vorwiegend die Medien Fernsehen (68%) und Tages- bzw. Wochenzeitungen (58%) zum Tragen. Bemerkenswert ist der Anstieg des Anteils derer, die das Internet bereits als Informationsquelle genutzt haben auf 33% in der aktuellen Befragung (gegenüber 20% in 2006). Auch bei der Nachfrage, an welche Quelle man sich bei einer aktiven Suche nach diesem Thema wenden würde, wurde das Internet am häufigsten angeführt.

Über das Vorhandensein des SAR-Werts für Handys sind nur 33% der Bevölkerung informiert. Von dieser Gruppe haben sich zudem nur 18% bislang beim Handykauf durch den SAR-Wert beeinflussen lassen.

5.4 BESORGTHEIT UND BEEINTRÄCHTIGUNG DER BEVÖLKERUNG

Ohne nennenswerte Veränderung sind in den Jahren 2003 bis 2005 sowie 2009 die Anteile der Bevölkerung, die sich im Hinblick auf hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks als besorgt (etwa 31%) oder gesundheitlich beeinträchtigt (etwa 10%) beschreiben. Lediglich für das Jahr 2006 wurden hier vergleichsweise niedrigere Werte erhoben.

Als Hauptursache für gesundheitliche Sorgen werden Mobilfunksendeanlagen (41%) und Handys (22%) angegeben. Als Ursache für gesundheitliche Beeinträchtigungen stehen Handys an erster Stelle (47%), gefolgt von den Mobilfunksendeanlagen (41%).

Was die Sorgen um die Exposition der eigenen Kinder betrifft, sehen die befragten Eltern vor allen Dingen in der Handynutzung ihrer Kinder das entscheidende gesundheitliche Risiko. Mobilfunksendeanlagen treten demgegenüber deutlich in den Hintergrund; Schnurlostelefone spielen nahezu gar keine Rolle.

Über die Hälfte aller durch EMF Beeinträchtigten kann keine spezielle Art der Beeinträchtigung angeben. Mit 18% sind Kopfschmerzen und mit 12% Schlafprobleme - wie auch in 2006 - die am häufigsten genannten konkreten gesundheitlichen Probleme.

Die Gruppe der Besorgten hingegen erlebt die Angst vor Krebs und Kopfschmerzen bzw. Migräne als zentralen Gegenstand ihrer Sorgen. Kopfschmerzen sowie die Sorge vor Kreislaufbeschwerden und Konzentrationsstörungen haben dabei im Vergleich zu 2006 an Bedeutung verloren, wohingegen Schlafprobleme nun als stärker besorgniserregend wahrgenommen werden und an dritter Stelle genannt werden.

Etwa 8 von 10 Befragten haben sich bislang noch nicht mit möglichen Vorsorgemaßnahmen bezüglich elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auseinander gesetzt. In den Gruppen der gesundheitlich Besorgten und Beeinträchtigten ist der Anteil derer, die schon über allgemeine Vorsorgemaßnahmen im Alltag nachgedacht haben oder diese sogar schon ergreifen, allerdings höher als unter der Gesamtheit der Befragten.

5.5 EINFLUSSGRÖßEN AUF DIE BESORGTHEIT WEGEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER

In einem statistischen Modell (logistische Regression) wurden mögliche Einflussgrößen auf die Wahrscheinlichkeit untersucht, ob Menschen wegen EMF besorgt sind oder nicht. Dabei wurden Aspekte identifiziert, die die Wahrscheinlichkeit, zur Gruppe der wegen EMF Besorgten zu gehören, statistisch signifikant beeinflussen.

Das Ergebnis zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit, zu den wegen EMF Besorgten zu zählen, unter anderem für Schüler und Befragte, die dem Thema Mobilfunk und Handy wenig skeptisch gegenüberstehen, besonders gering ist. Besonders groß ist die Wahrscheinlichkeit, zur Gruppe der Besorgten zu gehören, hingegen für gut informierte Personen und solche, die um eine Mobilfunk-Sendeanlage in ihrer unmittelbaren Wohnumgebung wissen. Zudem zeichnen sich auch Befragte, die der Handynutzung und Mobilfunk eher skeptisch gegenüberstehen, kein schnurloses Festnetztelefon benutzen, sich auch wegen anderer möglicher Risikofaktoren Sorgen machen und verstärkt gesundheitliche Beschwerden zu beklagen haben, durch eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit aus, zur Gruppe der Besorgten zu gehören.

5.6 SEGMENTIERUNG DER BEVÖLKERUNG

Um die Bevölkerung auf Basis der vorliegenden Erhebungsdaten noch anschaulicher beschreiben und gegebenenfalls Anhaltspunkte für die mögliche kommunikative Erreichbarkeit von einzelnen Zielgruppen gewinnen zu können, wurde in einem abschließenden Schritt das statistische Verfahren der Clusteranalyse eingesetzt.

Hiermit wurden insgesamt drei Gruppen identifiziert, die sich in Bezug auf ihren Informationsstand sowie ihr Informationsverhalten bezüglich EMF, ihre Nutzung von Handys und anderen Funktechnologien und ihrer Haltung gegenüber Mobilfunk und dessen Anwendungen deutlich voneinander unterscheiden. Anhand der Resultate für die Clustervariablen wurde eine inhaltliche Benennung der Segmente vorgenommen, die die Unterschiede der Bevölkerungsgruppen beschreibt:

- schlecht informierte, uninteressierte Intensivnutzer,
- schlecht informierte, kritische Wenignutzer,
- gut informierte, kritische Vielnutzer.

Darüber hinaus konnten die drei identifizierten Segmente hinsichtlich weiterer relevanter Merkmale genauer charakterisiert werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die jährliche Befragungsreihe zur Wahrnehmung des Mobilfunks in der Bevölkerung zeigt eine hohe Konstanz über sämtliche Befragungsinhalte hinweg. Auf die Gesamtgesellschaft bezogen weist somit das Thema Mobilfunk eine stabile Relevanz auf. Die Daten liefern wichtige Erkenntnisse über zentrale Rahmenparameter der Mobilfunknutzung und -wahrnehmung in der deutschen Bevölkerung. Sie geben Aufschluss über die Rolle des Mobilfunks im Vergleich zur Wahrnehmung verschiedener anderer möglicher Gesundheitsrisiken, sowie über die Ausprägung und die Entwicklung verschiedener Parameter der Risikowahrnehmung über die Zeit hinweg.

Die Ergebnisse dienen damit dem BfS als wichtige Grundlage für die Ausrichtung der Öffentlichkeitsarbeit und weiteren Aktivitäten zur Risikokommunikation.

**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

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

Subject

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

Kennzeichen

St.Sch. 3608S01001

Beginn

21.07.2008

Ende

30.06.2010

Fördermittel

EUR 167.943,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln

Projektleitung

S. Feige

Fachbetreuung BfS

K. Wichterey / SW 1.2

verantwortlich für den Text

Dr. D. Weiß, S. Feige

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens ist es, die notwendigen fachlichen Grundlagen für eine Novellierung der Strahlenschutzverordnung (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) und Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM) zu schaffen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Ausgehend von der übergeordneten Zielsetzung werden im Rahmen des Vorhabens verschiedene Einzelziele verfolgt, die in ihrer Gesamtheit das Erreichen des Vorhabensziels ermöglichen:

1. Recherche zur gegenwärtigen einzelstaatlichen Umsetzung der Richtlinie 96/29/EURATOM sowie zu adäquaten rechtlichen Regelungen in anderen europäischen Ländern;
2. Erfassung von Art, Herkunft und Menge von NORM in allen Staaten der EU und weiteren europäischen Ländern;
3. Zusammenführung aller erhobenen Daten und Informationen für im Ausland anfallende NORM in einer temporären projektbezogenen Datenbank;
4. Ermittlung der Strahlenexposition von nichtberuflich 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/TE-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.

In einem ersten Teil des Vorhabens werden auf Grundlage der deutschen Stoffliste die in den EU-Mitgliedsländern und anderen europäischen Staaten anfallenden NORM und TENORM erfasst, um die bestehenden erheblichen Kenntnisdefizite zu den Prozessen ihrer Entstehung und den anfallenden Arten und Mengen im Ausland zu schließen. Auf dieser Grundlage wird eine Liste über alle im Ausland anfallenden NORM und TE-NORM erstellt und deren Potenzial zum Import nach Deutschland bewertet.

In einem zweiten Teil des Vorhabens werden 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.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben ist in vier Arbeitspakete gegliedert: Arbeitspaket 1 (AP1) dient 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 (AP2) dient der intensiven Recherche zur Umsetzung der Richtlinie 96/29 EURATOM in nationales Strahlenschutzrecht der Mitgliedsstaaten bzw. wie sich die Situation in den Nichtmitgliedsstaaten im Vergleich zu dieser Richtlinie darstellt. Hierzu werden die entsprechenden nationalen Regelungen identifiziert, beschafft, ggf. übersetzt und in Bezug auf die Art und Weise der Erfassung und Einordnung von NORM/TENORM in die nationalen Rechtsvorschriften und nachgeordneten Regelwerke vergleichend bewertet.

In Arbeitspaket 3 (AP3) erfolgen der Aufbau bzw. die Aktualisierung des Kenntnisstandes zu NORM/TE-NORM-Prozessen sowie die Erfassung von Art und Menge an NORM/TENORM im europäischen Ausland. Die Identifikation von Materialien mit erhöhtem Gehalt natürlicher Radionuklide umfasst dabei folgende Kriterien:

1. Charakterisierung des betrachteten Industriezweiges, Identifikation der Verursacher im Herkunftsland,
2. Erfassung der typischen technischen Prozesse, die zur Bildung von NORM/TENORM führen (Gewinnung / mechanische Aufbereitung, chemische Prozesse, thermische Prozesse),
3. 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,
4. 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 vorangegangenen Arbeitspakete wird in Arbeitspaket 4 (AP4) eine Abschätzung der Strahlenexposition von Personen der Bevölkerung und Arbeitnehmern bei Deponierung oder Verwertung von NORM und TENORM durchgeführt.

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) (Abbildung 1) aufnimmt.

5. ERGEBNISSE

Mit der temporären Projektdatenbank NORM-DB wurde eine umfassende und einzigartige Datenbasis aufgebaut. Durch die bereits vorgenommene Ausrichtung auf zukünftige rechtliche Vorgaben wie die neuen Basic Safety Standards (BSS) der EU hat die Bearbeitung des Vorhabens einen hohen Grad an Aktualität erreicht und mit der Erfassung von NORM-Materialien im Ausland die weitere Ausgestaltung und Präzisierung von Regelungen in der Strahlenschutzverordnung im Bereich natürlicher Radioaktivität vorbereitet.

Die Datenbank beinhaltet eine aktuelle Zusammenstellung der nationalen Kontaktpunkte aus Behörden, Industrie und Forschungseinrichtungen mit Relevanz zum Thema. Nahezu alle nationalen Regelwerke und Empfehlungen des Betrachtungsraumes werden vorgehalten. Im Rahmen einer Fragebogenaktion erfolgte der erneute Abgleich der Daten mit den jeweiligen Kontaktstellen. Gegenwärtig sind in der NORM-Datenbank (NORM-DB) etwa 450 Dokumente erfasst und indiziert, weitere Dokumente werden der Datensammlung hinzugefügt. Es erfolgt eine fortlaufende Erfassung von Literatur und eine Ergänzung bzw. Bearbeitung neu erfasster Informationssysteme.

Die Menge bereits erfasster Literatur wird kontinuierlich ausgewertet und die so erlangten Kenntnisse über NORM-Stoffe werden in die Datenbank (DB) eingestellt. Nach fachgerechter Auswertung der zahlreichen Li-



Abbildung 1:
Projektdatenbank NORM-DB und ihre untereinander vernetzten Module

teraturstellen beinhaltet das Modul NORM-Stoffdatenbank gegenwärtig fast 200 beschriebene NORM-Substanzen mit etwa 640 Einzelproben und insgesamt etwa 2.700 hinterlegten Messwerten.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Datensammlung und Bewertung der potenziell nach Deutschland eingeführten NORM/TENORM als Grundlage der Expositionsabschätzung für ausgewählte Szenarien der Verwertung oder Deponierung von NORM und TENORM wird weiter verfolgt.

Im weiteren Projektverlauf erfolgt eine Abschätzung der Strahlenexposition von nicht beruflich strahlenexponierten Personen durch potenziell nach Deutschland eingeführte NORM/TENORM zum Zwecke der Beseitigung oder Verwertung. Im Rahmen der Bearbeitung von AP 4 erfolgt die Anwendung und gegebenenfalls Modifizierung der Berechnungsgrundlage Bergbau (BGIB) für die Beseitigung von NORM/TENORM hauptsächlich bergbaulichen Ursprungs auf Objekten mit großer Oberfläche oder Volumen (Phosphorgipshalden, Nebengesteinshalden, Boden und Bauschutt oder kontaminierte Flächen). Eine analoge Anwendung der BGIB ist bei der Verwertung von NORM/TENORM als Deponiebaumaterial gegeben, wobei die Vorgaben der Deponieverordnung (DepV) (Abfallschlüssel bestimmter, für den Deponiebau gestatteter Rückstände) berücksichtigt werden müssen und bestimmte Stoffe ausgeschlossen werden. Die Annahme einer „länderspezifischen“ Freigrenze von 1 Bq/g als Eingangsgröße für die Rechnung „bekannter“ Verwertungs- und Beseitigungsoptionen bietet sich an, um im Ausland entlassene Materialien grundsätzlich zu kennzeichnen.

Vor der Berechnung erfolgt die Zusammenstellung der infrage kommenden Stoffe nach Anlage XII Teil A der Strahlenschutzverordnung (StrSchV) und den sich aus anderen Rechtsgrundlagen ergebenden Einschränkungen für bestimmte Entsorgungs- und insbesondere Verwertungspfade und Szenarien (Deponieverordnung, Versatzverordnung). Die erforderlichen und zur Verfügung stehenden Stoffdaten werden zu diesem Zweck der Datenbank (NORM-DB) entnommen. Die expositionsrelevanten Randbedingungen werden der StrSchV entnommen beziehungsweise aus den gegenwärtig gültigen Empfehlungen des BMU (Berechnungsgrundlage Bergbau, BGIB) sowie die Berechnungsgrundlage Bergbau, Teil Radon abgeleitet.

Sowohl im Sinne der in Richtlinie 2006/12/EG vom 5. April 2006 über Abfälle (Abfallrahmenrichtlinie), Anhang II A und B beschriebenen Beseitigungs- und Verwertungsoptionen auch für NORM als auch unter Berücksichtigung der stofflichen Charakteristik dieser Rückstände ist diese Vorgehensweise aus verschiedenen Gründen nicht universell umsetzbar. Im Ergebnis des Vorhabens werden daher auch innovative Handlungsempfehlungen zum Aufbau eines Leitfadens zum Teil 3 StrSchV mit wesentlichen Elementen einer „Berechnungsgrundlage NORM“ erwartet, die den im Vorhaben gewonnenen Erkenntnissen eine angemessen hohe Verbreitung zusichern.

Thema Drittes Mortalitäts-Follow-Up der Kohorte von ca. 64.000 ehemaligen Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2008			
Subject <i>Third mortality follow-up of the cohort of approximately 64.000 former Wismut employees at the appointed date 31st December 2008</i>			
Kennzeichen St.Sch. 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 knapp 60% der Personen als „lebend“, 35% als „verstorben“ über Einwohnermeldeämter (EMA) oder Kreisarchive (KA) 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 (n=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 eruiert und nach ICD 10 verschlüsselt werden.

3. METHODIK

Für die 37.073 ehemaligen Wismut-Mitarbeiter 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, um diese dann in der Datenbank als „verstorben, Todesursache bekannt“ abzuschließen. 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 ICD 10 verschlüsselt, die ICD 10-Codes werden abschließend in die Datenbank eingestellt.

4. DURCHFÜHRUNG

Vom BfS wurde der Fa. 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 Anschriften konnte im Januar 2009 mit dem Versand der Formblatt-Anfragen an die EMA begonnen werden. Die von den Ämtern zurücklaufenden Daten werden kontinuierlich in die Datenbank eingepflegt und für die als verzogen gemeldeten Personen die jeweils nun zuständigen EMA kontaktiert.

Im Februar 2010 wurde damit begonnen, die GA bezüglich der Totenscheinkopien anzuschreiben.

5. ERGEBNISSE

Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung waren Anfragen zu allen 37.073 Personen zumindest zum ersten Mal an die EMA verschickt worden. Eine digitale Übermittlung der Anfragen wünschten sechs Ämter (Gera, Zwickau, Aue, Chemnitz, Berlin, Leipzig) mit insgesamt 7.161 Anfragen, d. h. der Anteil der digitalen Anfragen betrug etwas weniger als 20%. Mit Stand vom 26.02.2010 lag für 33.484 Personen (90,3% aller 37.073 Personen) zumindest eine erste Rückmeldung von den EMA vor. Der Vitalstatus zum Stichtag 31.12.2008 konnte bisher in 31.915 Fällen (86,1% aller Personen) ermittelt werden. 3.310 Personen (10,4% aller Personen, für die der Vitalstatus vorliegt) wurden bis jetzt als „verstorben“ gemeldet.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Zurzeit sind bereits 77% aller Fälle im Rahmen dieses Projektes abgeschlossen (gemeldet als wohnhaft unter aktueller Adresse). Der Schwerpunkt der Arbeiten zunächst wird darin liegen, die Totenscheinkopien für die bisher ca. 3.300 verstorbenen Personen von den GA zu erhalten. Parallel dazu werden die bereits eingegangenen Totenscheinkopien an das Statistische Landesamt in Bad Ems zur Verschlüsselung der Todesursachen nach ICD 10 weitergegeben.

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 St.Sch. 3608S04532	Beginn 02.12.2008	Ende 31.12.2010	Fördermittel EUR 500.878,-
Forschungs- / Auftragnehmer Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA)			
Projektleitung Dr. B. Pesch, Dr. G. Johnen	Fachbetreuung BfS Dr. M. Gomolka / AG-SG1.1	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 einem Protokoll gesammelt und aufbereitet. Dieses Protokoll soll auch auf eine hohe Probenzahl übertragbar sein. Der Aufbau der Bioprobenbank umfasst darüber hinaus die Konzeption einer Probendatenbank. Im Jahr 2009 sollte insbesondere geprüft werden, welchen Einfluss verschiedene Szenarien auf empfindliche Proben haben, die bei der Aufbereitung und dem Transport des biologischen Materials angewendet werden sollen. Dazu wurde 2009 eine Pilotstudie durchgeführt und anhand der dort erhobenen Befunde entschieden, welche Protokolle sich eignen, um die weitere Biobank aufzubauen.

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 Labors beim BfS, dem Helmholtz-Zentrum München (HZM) und dem IPA jeweils nach entsprechenden Protokollen des Operationshandbuchs. Die zu prüfenden unterschiedlichen Probenbehandlungen betreffen Zentrifugation, Postversand und Einhaltung einer Kühlkette. Beim BfS werden durchgeführt: RNA-PAXgene-Banking, BD P100-Banking, Chromosomenanalysen. Im HZM erfolgt die Lymphozytenisolierung und die Genotypisierung, im IPA wird DNA-Extraktion und Qualitätsanalyse, Methylierungsanalyse, RNA-Analysen und RNA-Banking durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

In die Pilotphase wurden 43 Probanden eingeschlossen, deren Blutproben in den Labors des IPA, des Helmholtz-Zentrums München und der Protagen AG auf Grundlage von Standard Operating Procedures entsprechend der unterschiedlichen Szenarien (Zentrifugation, Postversand vs. Kühlkette) analysiert wurden. Die Beprobung erfolgte in drei von der ZeBWis ausgewählten Untersuchungszentren in Sachsen unter operativer Beteiligung eines Teams des IPA. In vergleichenden Analysen zu Qualität und Integrität der Proben wurden Einflüsse von unterschiedlichen Transport- und Verarbeitungsprotokollen hinsichtlich Genom, Transkriptom und Proteom untersucht. Weiterhin wurden Teilnahmebereitschaft und Machbarkeit der Probennahme und die Eignung des Instrumentariums ermittelt. Nach Prüfung der Ergebnisse wurde die Probennahme nach einem gemeinsam mit Auftraggeber und Projektpartnern adjustierten Protokoll im 4. Quartal des Jahres 2009 fortgesetzt und ausgeweitet.

5. ERGEBNISSE

Die Teilnahmebereitschaft in der Pilotphase lag je nach Zentrum zwischen 28% und 79%, im Mittel bei 44%, was eine Steigerung der Responserate erforderlich machte. Die unterschiedlichen Probenbehandlungen (Zentrifugation, Postversand vs. Kühlkette) zeigten keine relevanten Auswirkungen auf die Probenqualität. Daher wurde festgestellt, dass für die Hauptphase der Postversand möglich ist und auf eine Präparation des Materials im Untersuchungszentrum weitgehend verzichtet werden kann. In Bezug auf die RNA-Konservierung wurde das einfachere zu handhabende PAXgene-System ausgewählt, auch wenn die Konservierung mit RNAlater etwas bessere Ergebnisse zeigte. Unter der Voraussetzung der Vereinfachung der in den Untersuchungszentren zu leistenden Feldarbeit wurde vom Auftraggeber die Machbarkeit der Probennahme festgestellt und über die Weiterführung der Studie entschieden.

Für die nächste Phase erfolgte die umfassende Anpassung der Abläufe und des Instrumentariums und die damit verbundene Erstellung eines entsprechenden Operationshandbuchs ‚Hauptphase‘. Für die Hauptphase wurden sechs Zentren (Schneeberg, Plauen, Gera, Niederdorf, Chemnitz und Zwickau) und insgesamt 446 Kandidaten nach Exposition (≥ 750 vs. < 50 WLM) und anderen Kriterien von ZeBWis ausgewählt. Die Fortsetzung der Beprobung unter Einbeziehung von zunächst fünf Untersuchungsstellen erfolgte im Oktober 2009. Im ersten Quartal der Hauptphase (4. Quartal 2009) wurde mit einer Responserate von insgesamt etwa 65% eine deutliche Steigerung gegenüber der Pilotphase erreicht. Unter den fünf beteiligten Zentren variierte die Rate zwischen 22% und 84%. Bis zum Ende des Jahres wurden 135 ehemalige Wismutbeschäftigte beprobt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Untersuchung wird in 2010 entsprechend des Operationshandbuchs fortgesetzt, das auf Grund der positiven Ergebnisse zur Probenqualität in der Pilotstudie angepasst wurde. Weitere Zentren wurden noch in 2009 eingebunden. Die Responseraten werden weiterhin regelmäßig ausgewertet.

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 St.Sch. 3607S04548	Beginn 01.01.2008	Ende 30.06.2010	Fördermittel EUR 218.603,-
Forschungs- / Auftragnehmer Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz			
Projektleitung Prof. Dr. H. Zeeb	Fachbetreuung BfS Dr. M. Schnelzer / AG-SG 1.3	verantwortlich für den Text Dr. G. Hammer	

1. ZIELSETZUNG

Mit Hilfe einer Kohortenstudie soll 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 beim 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 - trotz der Größe der Kohorten - bisher relativ wenige Todesfälle beobachtet.

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

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 KOHORTENZUSAMMENSTELLUNG UND -AUFBEREITUNG

Auf Basis der aus dem ersten Follow-up (bis 31.12.1997) vorhandenen Kohorte (Cockpit- und Kabinenpersonal) werden der Vitalstatus und ggf. die Todesursache zum Stichtag 31.12.2004 recherchiert. Die Gesamtkohorte umfasst 6.121 Personen Cockpitpersonal und 20.772 Personen Kabinenpersonal.

2.2 EXPOSITIONSABSCHÄTZUNG

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 werden von den Fluggesellschaften jährliche, flugzeugtyp-bezogene Flugstunden erhoben und mit Strahlendosisraten aus einer dazu passenden Job-Expositions-Matrix (JEM) multipliziert. Zur Validierung der Methode werden Daten des Strahlenschutzregisters hinzugezogen.

2.3 JOB-EXPOSITIONS-MATRIX

Die Job-Expositions-Matrix, die in der ersten Studie verwendet wurde, wird um weitere Jahre und neue Flugzeugtypen ergänzt. Auf Grundlage der Taschenflugpläne der Jahre 1995, 2000 und 2005 werden durchschnittliche Strahlendosisraten pro Flugstunde, aufgeschlüsselt nach Jahr und Flugzeugtyp mit der Software CARI v.6 (bzw. EPCARD) berechnet. Jahreswerte zwischen 1995 und 2000 bzw. 2000 und 2005 werden geeignet interpoliert.

2.4 EUROPÄISCHE KOOPERATION

Analog zur ersten gemeinsamen Auswertung der Daten von insgesamt neun Forschergruppen, die Kohortenstudien zum Fluggpersonal mit einem gemeinsamen Studiendesign durchgeführt haben, soll eine neue Auswertung mit aktualisierten Daten stattfinden. Die Bereitschaft hierzu haben uns alle ehemaligen Partner signalisiert. Für die neue Auswertung werden Datenformate, Datenlieferung und Auswertungsprotokoll erneut abgestimmt. Einzelne Partner, die eine Unterstützung bei der Erhebung der neuen Expositionsdaten benötigen, werden finanziell unterstützt.

3. METHODIK

3.1 KOHORTENZUSAMMENSTELLUNG UND -AUFBEREITUNG

Der Vitalstatus der Kohortenmitglieder und ggf. ihre Todesursache werden über Anfragen bei Einwohnermeldeämtern und Gesundheitsämtern erhoben.

3.2 STATISTISCHE AUSWERTUNG

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

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, bei dem die in der Kohorte beobachteten Sterbefälle mit den nach Periode (5-Jahresgruppen), Geschlecht und Alter (5-Jahresgruppen) stratifizierten Mortalitätsraten der deutschen Allgemeinbevölkerung verglichen werden. SMR werden für Gruppen von Todesursachen, und für einzelne Krebsentitäten berechnet. Zusätzlich werden SMR nach Beschäftigungsdauer berechnet.

3.2.2 Interne Vergleiche mittels Poisson-Regression / relative Risiken (RR)

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

3.2.3 Ermittlung des ERR/Dosis

Das in der Strahlenepidemiologie übliche Modell schätzt ein zusätzliches relatives Risiko (ERR) per Dosis als lineare Funktion der Dosis für solide Tumoren, bzw. linear-quadratische für Leukämien. Ein solches Modell wird für solide Tumoren in dieser Kohorte angepasst.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 DOSISBEZOGENE AUSWERTUNGEN

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. Einfache dosisbezogene Auswertungen werden voraussichtlich zu ähnlichen Ergebnissen führen wie beschäftigungsdauerbezogene, obwohl diese grundlegend anders zu interpretieren sind. Aktuell wird geprüft, welche analytischen Methoden sich anbieten, um diese Effekte möglichst voneinander zu trennen.

4.2 GEPOOLTE ANALYSE

Die gepoolten Daten aller Kooperationspartner werden nach dem gleichen Schema wie die deutschen Kohortendaten ausgewertet, lediglich mit der zusätzlichen Überprüfung der Heterogenität zwischen den Kohorten.

5. ERGEBNISSE

5.1 KOHORTENZUSAMMENSTELLUNG UND -AUFBEREITUNG

Das Follow-up der Kohorte des Cockpit- und Kabinenpersonal bis zum Ende 2004 ist komplett, einschließlich der Recherche und Kodierung der Todesursachen. Unter den 6.031 Piloten, 90 Pilotinnen, 3.740 männlichen und 17.032 weiblichen Kabinencrewmitarbeitern wurden 423, 0, 243 und 277 Todesfälle beobachtet. Standardisierte Mortalitäts-Ratios (SMR) deuten auf einen starken Healthy Worker Effect hin und wurden bereits publiziert (Zeeb H, Hammer GP, Langner I, Schafft T, Bennack S und Blettner M: Cancer mortality among German aircrew: second follow-up. Radiat Environ Biophys, 2009).

5.2 EXPOSITIONSABSCHÄTZUNG

Die kumulative effektive Dosis korreliert stark mit den kumulativen Blockstunden und der Beschäftigungsdauer. Im Vergleich zur Software EPCARD unterschätzt Software CARI die Strahlendosis um 8,8% ($R^2 = 0,991$). Im Vergleich zur amtlichen Dosimetrie des Jahres 2004 werden Strahlendosen durch das JEM-Verfahren um 4% unterschätzt ($R^2 = 0,95$), was auf Unterschiede in den individuell geflogenen Strecken zurückzuführen ist.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

6.1 DEUTSCHE AUSWERTUNGEN

Bis Januar 2010 werden im deutschen Teil der Studie relative Risiken in Abhängigkeit von der Strahlendosis berechnet. Dem schließt sich die Validierungsstudie zur Job-Expositions-Matrix an, deren Ergebnisse in Sensitivitätsanalysen verwendet werden sollen. Anschließend werden entsprechende Publikationen vorbereitet.

6.2 EUROPÄISCHE KOOPERATION

Eine Kooperation mit den Forschergruppen aus Kanada und Bulgarien kommt nicht zustande, die US-amerikanische PanAm-Kohorte der NIOSH wird aber eingeschlossen.

Mit der gepoolten Auswertung der Daten aller Kooperationspartner sollte im September begonnen werden. Da die Daten von den Kooperationspartnern noch nicht geliefert worden sind, war dies jedoch nicht möglich. Werkverträge zur lokalen Datenvorbereitung und -übermittlung mit allen Partnern wurden vorbereitet. Die Daten werden nun im ersten Quartal 2010 erwartet. Die internationalen Daten werden mit den vorhandenen Programmen auf Plausibilität geprüft und ausgewertet.

Thema

Untersuchungen der Ortsdosisleistung in Flugzeugen unter Berücksichtigung des Sonnenzyklus, der Lageveränderung der magnetischen Pole und der Auswirkung von solaren Ereignissen zur Qualitätssicherung der Dosismessung für das fliegende Personal

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

St.Sch. 3608S10003

Beginn

03.02.2009

Ende

31.01.2012

Fördermittel

EUR 319.620,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig

Projektleitung

Dr. F. Wissmann

Fachbetreuung BfS

L. Kammerer / AG-SG 2.3

verantwortlich für den Text

Dr. F. Wissmann

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 Dosismessung sind Messungen der Ortsdosisleistung in Flughöhen über mindestens einen halben Sonnenzyklus erforderlich.

Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung 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 Dosismessung 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 ständig 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) entwickelt.

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 oder 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 Detektortyp (Liulin) 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 wurde teilweise durch das Vorgängervorhaben 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 h pro NAVIDOS Messdaten erhoben und von der CAU und der PTB ausgewertet.

Erste Vergleiche der Rechnungen mit Messungen wurden auf ausgewählten Strecken im Dezember 2009 durchgeführt. Diese Vergleiche zeigen recht gute Übereinstimmungen der Rechnungen mit den Messdaten. Teilweise kommt es zu Abweichungen in der Größenordnung von bis zu 10%.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im Laufe des Projektes sind noch folgende Arbeiten geplant:

- Kontinuierliche Weiterführung der Messungen,
- Entwicklung von Programmen zur routinemäßigen Datenanalyse,
- Vergleichsmessungen mit den unterschiedlichen Dosimetersystemen auf Einzelflügen über den Äquator,
- Vergleich der Messungen mit zugelassenen Dosisermittlungsprogrammen,
- Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung der Ersatzdosis beim Auftreten eines solaren Ereignisses.

Thema

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

Subject

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

Kennzeichen

St.Sch. 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, räumlich und zeitlich begrenzter Radonfreisetzungen, die auf konvektive Transportvorgänge im Haldenkörper zurückzuführen sind. Das Ziel des Vorhabens besteht 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 sind Lösungswege zur Modellierung und insbesondere zur Vorgehensweise bei der Bewertung des „Radonpfades“ aufzuzeigen, die in vorhandene Berechnungsvorschriften und Empfehlungen des Bundes übernommen werden können.

2. EINZELZIELSETZUNG

Nach einer Aufarbeitung bereits erfolgter relevanter Untersuchungen zur Problematik erhöhter Radonkonzentrationen im Freien im Nahbereich flächenhafter bergbaulicher Hinterlassenschaften werden an Halden des Uran- oder Altbergbaus experimentelle Untersuchungen einerseits zur Bestimmung der Radonfreisetzung, andererseits zur Charakterisierung der Radonausbreitung im Freien durchgeführt und ausgewertet.

2.1 RADONFREISETZUNG

An Halden des Uran- oder Altbergbaus werden Messungen zur Bestimmung der Radonfreisetzung in die Atmosphäre durchgeführt. Diese Radonfreisetzungen werden bei vielen Halden durch konvektive Luftströmungen im Haldeninneren dominiert. Daher sollen die Halden zunächst durch Messungen der Radonexhalation als Radonquelle charakterisiert werden.

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

3.1 UNTERSUCHUNGSOBJEKTE

Die im Zuge der Aufarbeitung relevanter Untersuchungen zur Problematik erhöhter Radonkonzentrationen im Freien gewonnenen Ergebnisse führten dazu, im Raum Johanngeorgenstadt die Dammhalde Steinsee wegen ihrer einfachen Geometrie sowie der günstigen Lage und die Dammhalde Trockenbecken wegen ihrer Relevanz für umliegende Wohnbebauung und des hohen Untersuchungsgrades als Untersuchungsobjekte auszuwählen.

3.2 MESSUNG DER RADONKONZENTRATION

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 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.

3.3 ERFASSUNG DER METEOROLOGISCHEN VERHÄLTNISSE

Die Wetterverhältnisse wurden während der Messzeiträume durch eine Wetterstation mit Datenfernübertragung für Windgeschwindigkeit, -richtung, Lufttemperatur und -feuchte, sowie Niederschlag erfasst. Zur flächen- und höhenmäßigen Messung der Lufttemperatur kamen Temperaturdatenlogger, welche abgeglichen wurden, zum Einsatz.

4. DURCHFÜHRUNG

Im Vorfeld der Messkampagnen wurde für beide Standorte aus ATKIS-DGM-Daten (bereitgestellt durch Staatsbetrieb Geobasisinformationen und Vermessung Sachsen) ein digitales Geländemodell (DGM) erstellt.

4.1 MESSZEITRAUM

Die Durchführung der angestrebten Untersuchungen zu Kaltluftabflüssen ist an spezielle meteorologische Bedingungen gebunden (sommerliche Bedingungen, austauscharme Wetterlage, Strahlungsnacht), die im Zeitraum Juli-September 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.

4.2 MESSGEOMETRIE

Die Messung der Radonkonzentration erfolgte auf Profilen, die gemäß DGM 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 m und 2 m Höhe gemessen. Weitere Temperaturmessungen erfolgten parallel zu den jeweiligen Hauptprofilen.

5. ERGEBNISSE

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 Dammhalde Steinsee wurden in ca. 150 m Entfernung vom Haldenfuß Konzentrationen bis zu 20 kBq/m^3 Rn-222 gemessen. Die Kaltluftabflüsse konnten mit Zeiträumen fallender Lufttemperaturen korreliert werden. Voraussetzung für die Ausbildung von Kaltluftabflüssen ist eine Temperaturschichtung mit kälteren bodennahen Luftschichten. Eine Bindung an Zeiträume extrem hoher Tagestemperaturen existiert nicht.

Begünstigt werden die Kaltluftabflüsse durch die starke Neigung der Haldenböschungen. Dies führt dazu, dass bereits kleine Temperaturdifferenzen zwischen den bodennahen und den bodenferneren Luftschichten zur Bildung ausgeprägter Kaltluftabflüsse führen können.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Auswertung der Messungen erfolgt unter dem Gesichtspunkt, die in Haldennähe zu hohen Freiluftkonzentrationen führenden Transportmechanismen des Radons aufzuklären und für Halden des Uran- und Altbergbaus verallgemeinern zu können. Zusammenhänge zwischen den meteorologischen Verhältnissen, insbesondere des Temperaturfeldes in der Haldenumgebung, der Radonexhalation, den topographischen Bedingungen, den physikalischen Haldenparametern und den resultierenden Radonkonzentrationen in der bodennahen Atmosphäre im Nahbereich der Halde werden aufgezeigt. Kriterien für das mögliche Auftreten stark erhöhter Radonkonzentrationen im Freien werden formuliert. Die Modellierung dieser Zusammenhänge soll durch Verknüpfung von Kaltluftbildung durch Strahlungsabkühlung, Radonexhalation infolge konvektiver Strömungen im Haldeninneren und der Kaltluftausbreitung einschließlich Dispersion des Radongehaltes erfolgen.

Letztendlich sollen Vorschläge unterbreitet werden, wie die im Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse in Prüf- und Bewertungsmethoden des BMU, wie z. B. Berechnungsgrundlagen Bergbau oder Leitfäden, umgesetzt werden können, um die Strahlenexposition durch singuläre Radonfreisetzungen aus Halden und deren Ausbreitungsbedingungen adäquat erfassen zu können. Das Ziel besteht dabei darin, eine geeignete Kombination aus einfachen, wenig aufwendigen Messverfahren und handhabbaren Prognosewerkzeugen zu entwickeln, mit denen die singulären Radonfreisetzungen ausreichend belastbar charakterisiert werden können.

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 St.Sch. 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 zum Ende der Vertragslaufzeit 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 Atomkraftwerken 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:

1. Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik,
2. Erarbeitung technischer Empfehlungen für den Strahlenschutz.

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 Schwerpunktthema 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 werden Vorschläge für die Beseitigung von Rückständen der Erdöl- und Erdgasindustrie sowie von Rückständen aus der Rauchgasreinigung der Roheisen- und Nichteisenmetallurgie gemacht. 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).

Zum Abschluss des Projektes wird in einem Workshop durch die Kontaktpersonen des Netzwerks eine Bewertung des erreichten Standes und der Nutzbarkeit des EANNORM vorgenommen werden. Darin soll auch über die Perspektive des EANNORM entschieden werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Entsprechend des Arbeitsprogramms zum vorliegenden Projekt wurde im November 2009 in Dresden der 2. Workshop des EANNORM durchgeführt. Das Vortragsprogramm beinhaltete die folgenden Themenbereiche

- Sitzung 1: Allgemeine Anforderungen bei Expositionen durch NORM/natürliche Quellen,
- Sitzung 2: Input und output des ALARA Netzwerks,
- Sitzung 3: Einführung der neuen EURATOM Basic Safety Standards (EU BSS) in der Industrie,
- Sitzung 4: Erfahrungen mit NORM in den verschiedenen Ländern,
- Sitzung 5: Praktische Anwendungsbeispiele

und umfasste damit die gegenwärtigen Hauptfragestellungen der Diskussionen auf dem Fachgebiet NORM in Europa. Die einzelnen Sitzungen wurden durch insgesamt 24 Fachbeiträge und je eine Abschlussdiskussion untersetzt. Es erfolgt eine fachliche Auswertung des Workshops. Des Weiteren werden die planmäßig anstehenden Aufgaben zur Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik in Form eines Berichtes realisiert.

5. ERGEBNISSE

Der durchgeführte 2. Workshop des EANNORM wurde mit positiver Resonanz in der „NORM-Community“ aufgenommen. Insgesamt haben 58 Personen aus 16 europäischen Ländern und eine Person aus Korea am Workshop teilgenommen. Es wird eingeschätzt, dass die Zielstellungen des Workshops erfüllt wurden. Nach Meinung der Teilnehmer boten die Präsentationen des Workshops eine gute Grundlage für Lösungsansätze und Diskussionen von wichtigen Fragen zum Problem Strahlenschutz in der NORM-Industrie. Allerdings konnten bei der Vielzahl von Themen, die im vorangegangenen Projekt von den Kontaktstellen als wichtig und interessant angesprochen worden sind, nicht alle behandelt werden. Hier müssen die Diskussionen im Verlauf des Vorhabens voran gebracht werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Neben der Erfüllung des Arbeitsprogramms entsprechend der Aufgabenstellung zu diesem Vorhaben werden auch die Ergebnisse des Workshops in die weitere Bearbeitung des Vorhabens einfließen. Dies impliziert z. B.

die Diskussion ausgewählter Themen per E-Mail mit kleineren Gruppen und die Bildung von Arbeitsgruppen oder Sub-Netzwerken zu wichtigen Themen. Ebenso wird die Durchführung von speziell themengebundenen Workshops mit eng begrenzter Teilnehmerzahl angestrebt. Als interessierende Themen, die in kleineren Arbeitsgruppen diskutiert werden sollen, wurden in den Workshop-Diskussionen mehrfach benannt:

- Expositionsszenarien,
- Beseitigung von Rückständen und
- Methoden der Überwachung von Beschäftigten.

Das Interesse der Teilnehmer ist vorhanden. Großes Interesse fand der Vorschlag, im Jahre 2011 einen 3. Workshop zu veranstalten.

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 St.Sch. 3608S04544	Beginn 01.04.2008	Ende 31.03.2011	Fördermittel EUR 208.296,-
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 bestaubt 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. Die Stoffe werden in der Flüssigkeit exponiert, und ein Teil geht in Lösung. Durch die Messung des gelösten und ungelösten Anteils kann die Löslichkeit 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 ein auszuwählendes Lösemittel 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 ein geeignetes Verfahren, zum Beispiel 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 wird die Aktivitätsverteilung radiometrisch, zum Beispiel gammaspektrometrisch, gemessen.

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 gamma-spektrometrisch bzw. nach radiochemischer Analyse alpha-spektrometrisch gemessen. Diese Arbeiten werden am Institut für Radioökologie in Kiew durchgeführt. Ein Laborbesuch in Kiew diente der Absprache von einer gemeinsamen Qualitätskontrolle.

4.2 RETROSPEKTIVE BESTIMMUNG DER AKTIVITÄTS-GRÖßENVERTEILUNG

Zur Etablierung eines Verfahrens wurde am Helmholtz Zentrum München zunächst Aerosol auf Faserfiltern, die den eigentlichen Filterproben ähnlich sind, gesammelt. Die Menge des gesammelten Aerosols wurde gravimetrisch bestimmt. Anschließend wurde an diesen Filtern jeweils eines der beiden oben beschriebenen Verfahren angewendet. Durch eine erneute Wägung des Filters konnte der Anteil des resuspendierten Aerosols bestimmt werden.

Um den Einfluss der Verfahren zur Resuspendierung auf die Aktivitäts-Größenverteilung zu bestimmen, wurde parallel zur Sammlung des Aerosols das Aerosol in einem Impaktor größenklassifiziert gesammelt und dessen Aktivitäts-Größenverteilung gamma-spektrometrisch gemessen. Das durch das gewählte Verfahren resuspendierte Aerosol wurde ebenfalls größenklassifiziert gesammelt und seine Aktivitätsverteilung gamma-spektrometrisch gemessen.

5. ERGEBNISSE

5.1 LÖSLICHKEIT DES AEROSOLS IN LUNGENFLÜSSIGKEIT

Auf Filtern, die große heiße Teilchen enthielten, war das Verhältnis der Aktivität von Cs-137 zu der von Pu-(239,240) um etwa einen Faktor 20 größer als auf Filtern, die kleinere Bruchstücke heißer Teilchen enthielten. Die Löslichkeit von Cs-137 in solchen kleineren Bruchstücken während 7 Tagen in simulierter Lungenflüssigkeit (Gamble-Lösung) betrug etwa 40% und nahm innerhalb von 35 Tagen auf etwa 3% ab. Aus größeren heißen Teilchen lösten sich auch zu Beginn der Exposition nur etwa 2% innerhalb von 14 Tagen. Die Löslichkeit von Sr-90 betrug $2,5 \pm 1,7\%$, die von Pu-(239,240) $0,23 \pm 0,14\%$ und die von Am-241 $0,5 \pm 0,3\%$. Eine zweite simulierte Lungenflüssigkeit zeigte geringfügig geringere Löslichkeiten, was durch weitere Messungen noch genauer quantifiziert werden soll.

5.2 RETROSPEKTIVE BESTIMMUNG DER AKTIVITÄTS-GRÖßENVERTEILUNG

Mittels ultraschallgestützter Lösemittlextraktion in Methanol konnten innerhalb von zwei Minuten etwa 70% des auf einem Faserfilter gesammelten Luftstaubs in das Lösemittel resuspendiert werden. Wasser erwies sich dagegen als Lösemittel als ungeeignet auf Grund der Wasser abweisenden Eigenschaft vieler Faserfilter ebenso wie Methanol ohne Anwendung von Ultraschall.

Während bei der Extraktion in Luft nur mit einem Luftstrom durch das Filter Aerosol nicht messbar gelöst werden konnte, konnten durch gleichzeitige Anwendung von Ultraschall bis zu 30% des Aerosols resuspendiert

werden. Für die Einkopplung des Ultraschalls in das Filter musste ein besonderer Filterhalter konstruiert werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Weil die Löslichkeitsbestimmung an einer Probe nur jeweils einmal durchgeführt werden kann, ist es erforderlich, das Verfahren einer Qualitätssicherung zu unterziehen. Dazu wurden Probengefäße und Messprozeduren des Instituts für Radioökologie in Kiew für Vergleichsmessungen am Helmholtz Zentrum München übernommen. An geteilten ausgewählten Filterproben sollen die Ergebnisse validiert werden.

Für die retrospektive Bestimmung der Aktivitäts-Größenverteilung sollen durch weitere Vergleiche mit direkt gemessenen Größenverteilungen der Einfluss der angewendeten Verfahren auf die Größenverteilung bestimmt und entsprechende Korrekturfunktionen entwickelt werden. Ein Elektromobilitätsspektrometer zur Messung der Anzahl-Größenverteilung der Aerosolteilchen soll in den Versuchsaufbau eingebunden werden, um so einen Vergleich zwischen der Aktivitäts- und der Anzahl-Größenverteilung ziehen zu können.

Thema Retrospektive Dosimetrie in Notfallsituationen für die Bevölkerung			
Subject <i>Retrospective Dosimetry for the population in emergency situations</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3607S04560	Beginn 01.09.2007	Ende 31.08.2010	Fördermittel EUR 323.951,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München			
Projektleitung Dr. C. Woda	Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornik / AG-SG 2.2 U. Lechel / AG-SG 2.2		verantwortlich für den Text Dr. C. Woda

1. ZIELSETZUNG

In dem Projekt sollen nicht-invasive Methoden zur retrospektiven Dosimetrie für Individuen und Bevölkerungsgruppen nach Notfallsituationen mit Strahlenexpositionen entwickelt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Mittelpunkt des Vorhabens steht 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 soll darüber hinaus dahingehend optimiert sein, dass sie höchstens einen Tag in Anspruch nimmt. Im Einzelnen sind dabei folgende Teilaspekte zu bearbeiten.

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

Es sind mindestens drei Materialien von am Körper getragenen persönlichen Gegenständen zu ermitteln, die prinzipiell für die Rekonstruktion von individuellen Strahlenexpositionen geeignet sind. Es sind 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 RECHENPROGRAMMEN

Es ist 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 sind Rechenprogramme zu entwickeln, mit denen aus der gemessenen Dosis die Strahlendosis samt Unsicherheit für eine Bevölkerungsgruppe berechnet werden kann. Es sind Fallbeispiele für Kombinationen aus zwei Ereignissen, drei meteorologischen Parametern, zwei Orographien und drei Beispielen der Urbanisierung zu berechnen.

3. METHODIK

Für die Untersuchung der möglichen Materialien von am Körper getragenen Gegenständen kommen Methoden der Thermolumineszenz (TL) und Optisch-Stimulierten Lumineszenz (OSL) am Helmholtz Zentrum München zum Einsatz. Die zu entwickelnden Rechenprogramme ermöglichen die Abschätzung der externen Strahlendosis in Abhängigkeit vom Standpunkt einer Person zum Zeitpunkt der Exposition. Es werden zwei Fälle betrachtet, für die auch zwei Programme entwickelt werden. Im ersten Fall liegen nur sehr wenig (< 10) Datenpunkte aus den Detektormessungen vor. Hier werden 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 dem Inhabited Areas Monitoring Module (IAMM) durchgeführt, das als Softwaremodul zur Abschätzung der Umweltkontamination in das Entscheidungshilfesystem JRODOS integriert wurde.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 LUMINESZENZEIGENSCHAFTEN VON WIRE-BOND CHIPKARTENMODULEN UND ELEKTRONISCHEN KOMPONENTEN

An den vorhandenen Chipkartenmodulen von Infineon AG wurden weitergehende, grundlegende Untersuchungen zu den Lumineszenzmechanismen und dem Ursprung des Nullsignals durchgeführt. Es wurde die Phosphoreszenz von unexponierten Chipkartenmodulen bei verschiedenen Temperaturen untersucht, sowie die Methode der variierenden Heizraten auf un- und bestrahlte Module angewandt, um die Fallenparameter zu bestimmen. Bei den Komponenten aus tragbaren elektronischen Geräten wurde neben den Al_2O_3 -reichen Widerständen auch Vielschicht-Induktivitäten mit einer Al_2O_3 Keramik als dosimetrisches Material identifiziert. Es wurden weitergehende Untersuchungen zu den Lumineszenzeigenschaften an diesen Komponenten aus älteren und neuesten tragbaren elektronischen Geräten durchgeführt (Nachweisgrenze, Form der Ausleuchtcurve, Messprotokoll und Variabilität der Fadingrate).

4.2 ENTWICKLUNG EINES WARTUNGSFREIEN LUMINESZENZDETEKTORS SAMT RECHENPROGRAMMEN

Für die Auswahl des geeigneten Lumineszenzmaterials wurden die Eigenschaften bekannter TLD Materialien aus der Literatur kompiliert und hinsichtlich der Anforderung für den Notfallschutz evaluiert. Nach Festlegung des Materials wurden erste Messungen der Lumineszenzeigenschaften durchgeführt. Für das Gehäuse des Detektors wurden verschiedene Prototypen entworfen und in der Werkstatt des Helmholtz Zentrum München in Auftrag gegeben.

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

5. ERGEBNISSE

5.1 LUMINESZENZEIGENSCHAFTEN VON WIRE-BOND CHIPKARTENMODULEN UND ELEKTRONISCHEN KOMPONENTEN

Die Analyse des Phosphorennzsignals unexponierter Chipkartenmodule scheint die These zu bestätigen, dass der Ursprung des Nullsignals im Epoxydharz und nicht im Füllstoff zu suchen ist. 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 erklärt sich die Langzeitinstabilität des OSL Signals bei Raumtemperatur als rein thermisches und nicht, wie bisher angenommen, anomales Fading. Damit könnte eventuell die Fadingrate durch die Anwendung einer geeigneten niedrigen Vorheiztemperatur reduziert werden, ohne dabei ein signifikantes Nullsignal zu erzeugen. Dies wird weiter untersucht. Bei den elektronischen Komponenten weisen die Vielschicht-Induktivitäten in der Regel eine schneller abklingende OSL Ausleuchtcurve und höhere Empfindlichkeit als die Widerstände auf, sind aber seltener verbaut. 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). Die Fadingrate weist bei 21 untersuchten elektronischen Geräten eine Streuung (2σ) von 20 - 30% auf und kann durch eine höhere Vorheiztemperatur nicht verringert werden.

5.2 ENTWICKLUNG EINES WARTUNGSFREIEN LUMINESZENZDETEKTORS SAMT RECHENPROGRAMMEN

Als Lumineszenzmaterial wurde BeO ausgewählt, da es billig und mechanisch robust ist und günstige Lumineszenzeigenschaften aufweist: ein einfaches OSL Signal, lineares Wachstum bis fast 10 Gy, Nachweisgrenze unter 10 μGy und eine fast konstante Photonenenergieabhängigkeit. Hohe und niedrige Dosen können aber bis jetzt nicht mit dem gleichen experimentellen set-up gemessen 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.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im letzten Projektjahr soll für die tragbaren elektronischen Geräte und Chipkartenmodule die Photonenergieabhängigkeit experimentell bestimmt und für die Chipkarten ein alternatives Messprotokoll erprobt werden. Für den BeO Detektor soll das Messprotokoll optimiert werden, um den vollen Sensitivitätsbereich auszuerschöpfen. Die Gehäuse (Fertigstellung voraussichtlich Ende März 2010) werden verschiedenen Belastungstest unterworfen und die Photonenenergieabhängigkeit bestimmt. Danach wird das optimale Gehäuse ausgewählt und bis Ende des Vorhabens fünf weitere Exemplare hergestellt.

Das auf MATLAB basierende Fitprogramm für wenige Datenpunkte wird erstellt. Die notwendigen Programmierarbeiten zur Erweiterung von IAMM werden ausgeführt. Mit beiden Programmen werden die vom Auftraggeber geforderten Beispiele durchgerechnet.

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 St.Sch. 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 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 außer der Patientendosis auch die Bildqualität für typische radiographische Verfahren (Thoraxaufnahme und Mammographie) bestimmt werden kann. Die Ergebnisse bilden eine Grundlage dafür, mittels Simulationsrechnungen Zusammenhänge zwischen Patientendosis und Bildqualität zu untersuchen und Verfahren zur Optimierung von Dosis und Bildqualität zu entwickeln.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ERSTELLUNG VON HYBRIDEN VOXELMODELLEN

Für 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 zusätzliches 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 weiblichen Brust, von denen hoch aufgelöste CT-Untersuchungen angefertigt werden können. Wegen der geforderten sehr hohen Bildauflösung von ca. 50 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. Das anatomische Präparat der weiblichen Brust wurde während des Präparationsprozesses komprimiert, so dass es die Komprimierung der Brust während der Mammographie bereits realistisch widerspiegelt. Anschließend sind die segmentierten hoch aufgelösten Voxelmodelle der Lunge bzw. der weiblichen Brust in die Ganzkörper-Voxelmodelle geeignet einzupassen. 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, Blutgefäße) durch „Überschreiben“ verloren gehen. Hierzu müssen die hoch aufgelösten Teilkörperphantome oder die entsprechenden Organe der Ganzkörperphantome eventuell 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, indem Teilchen verworfen werden, die unter Einfallswinkeln auf die Detektorebene auftreffen, die ein Streustrahlenraster nicht zulassen würde. Die Bildqualität soll durch Analyse der Dosisverteilung in der Detektorebene bestimmt werden. Als Zielparamester 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 Photonenanzahlen in einer realen Mammographie oder Thoraxaufnahme beträgt mindestens ca. 2^{31} , d. h. ungefähr 2,15 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 hinsichtlich des Anodenmaterials.

(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.

Hinter dem Phantom wird ein so genanntes reales Strahlenbild gespeichert; so können dann zusätzlich zwei bis drei verschiedene Streustrahlenreduktionsverfahren je Strahlenqualität simuliert werden. Für diese Aufnahmen werden jeweils Organdosen und die effektive Dosis sowie die Parameter zur Beschreibung der Bildqualität (Kontrast-Rauschverhältnis) berechnet. Außerdem ist es geplant zu untersuchen, ob zuverlässige Aussagen zur Bildqualität auch mit kürzeren Rechenzeiten erreicht werden können. Sollte eine Möglichkeit hierfür gefunden werden, können entsprechend mehr Variationen der Aufnahmeparameter simuliert werden.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERSTELLUNG VON HYBRIDEN VOXELMODELLEN

Programme wurden erstellt, die es erlauben, einen hoch aufgelösten Teilkörperbereich in ein Ganzkörperphantom mit niedrigerer Voxelauflösung einzupassen.

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

Der EGSnrc-Usercode wurde dahingehend modifiziert, dass die Teilchengeschichten nicht beim Verlassen des Körpers beendet, sondern bis zum Auftreffen auf eine in hoch aufgelöste Bildelemente unterteilte Detektorebene weiterverfolgt werden. Die Möglichkeit des Wechsels zwischen unterschiedlichen Auflösungen ist in Entwicklung.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

- CT-Aufnahmen der Präparate von Lunge und Brust;
- Segmentierung der hoch aufgelösten Voxelmodelle von Lunge und Brust;
- Fertigstellung des EGSnrc-Usercodes mit der Möglichkeit, zwischen den unterschiedlichen Auflösungen zu wechseln.

Themenbereich 03

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

Subject area 03

Radiation Biology - Effects of ionising radiation, radiosensitivity

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

St.Sch. 3608S03002

Beginn

01.07.2008

Ende

30.06.2011

Fördermittel

EUR 249.855,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Forschungszentrum Jülich, Geschäftsbereich Sicherheit und Strahlenschutz

Projektleitung

Dr. R. Kriehuber, Dr. E. Pomplun

Fachbetreuung BfS

Dr. S. Hornik / AG-SG 2.2

verantwortlich für den Text

Dr. R. Kriehuber, Dr. E. Pomplun

1. ZIELSETZUNG

Anhand verschiedener Zelllinien sowie im pUC19-Plasmidmodell soll geklärt werden, inwieweit eine unterschiedliche Dosisleistung beim Zerfall von Auger-Elektronen-Emittern auftretende Schadensmuster beeinflusst. Dazu sollen verschiedene biologische Endpunkte qualitativ und quantitativ untersucht werden. Darüber hinaus sind Genexpressionsanalysen geplant, die darüber Aufschluss geben sollen, 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. Des Weiteren soll die Möglichkeit einer Coulomb-Explosion und deren molekulare Folgen untersucht werden.

Gemeinsam sollen die experimentellen und modelltheoretischen Untersuchungen dazu dienen, die Auswirkung des Dosisleistungseffektes auf zelluläre Systeme in vitro besser zu beschreiben, dessen zellphysiologischen Ursachen zu erhellen und dazu beitragen, die Bedeutung des Dosisleistungseffektes für den Strahlenschutz zu klären.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 EXPERIMENTELL

Im experimentellen Teil sollen „uptake“-Experimente in synchronisierten SCL-II- und Nieren-T1-Zellen durchgeführt werden, um die Aufnahme von I-125 als 5-Iododeoxyuridin (IUdR) in die Zellen und die Einbaurate von I-125-UdR in die DNA zu ermitteln und zu modellieren. Des Weiteren sollen Versuche zur Bestimmung der Mikrokernrate in beiden Zelllinien nach Exposition mit I-125- und I-123-UdR durchgeführt werden. Begleitend hierzu soll die Zellzyklusverteilung und der Apoptosestatus zu drei verschiedenen Zeitpunkten nach Exposition (0, 8 und 24 h) mit I-125- und I-123-UdR ermittelt werden. Mit ersten Untersuchungen zu Chromatinschädigung nach Exposition mit I-125- und I-123-UdR mittels Comet-Assay soll demnächst begonnen werden, ebenso Untersuchungen zu Bystander Effekten (Apoptose und Mikrokernbildung). Versuche zu Strangbrucheffizienz im pUC19-Plasmidmodell sollen durchgeführt werden sowie RNA Isolierungen zur Vorbereitung der Genexpressionsuntersuchungen.

2.2 MODELL-THEORETISCH

Die bereits begonnenen Untersuchungen zur Möglichkeit einer Coulomb-Explosion innerhalb der jod-markierten DNA-Moleküle sollen fortgeführt und erweitert werden. Insbesondere soll versucht werden, den Einfluss der Zucker- und Phosphat-Gruppen auf die Molekülstabilität zu studieren, die in den bisherigen Arbeiten noch nicht berücksichtigt worden waren.

3. METHODIK

3.1 EXPERIMENTELL

Für die Markierung der Zellen mit I-UdR wurden die SCL-II Zellen mittels Kontaktinhibition und die Nieren T1 Zellen mittels Mimosin/Aphidicolin-Doppelblock synchronisiert. Die Mikrokernraten wurden im Cytochalasin-B Mikrokernassay erhoben. Die Auszählung der Mikrokern erfolgte dabei automatisiert mittels Metafer4 plus Softwareerweiterung für Erfassung von Mikrokernen von MetaSystems. Chromatinschädigungen wurden im alkalischen Comet-Assay untersucht, wobei zur Auswertung der Kometen der aussagekräftige Parameter „%DNA in tail“ herangezogen wurde. Die Apoptosebestimmungen wurden durchflusszytometrisch mittels AnnexinV-FITC/PI-Assay durchgeführt. Die Zellzyklusanalysen wurden ebenfalls mittels Durchflusszytometrie durchgeführt.

3.2 MODELL-THEORETISCH

Die Geometrien verschiedener Kationen von 5-Telluro-2'-deoxyuridin und 5-Telluro-2'-deoxyuridin-3',5'-biphosphat und auftretender Fragment-Kationen wurden auf B3LYP- Niveau der Dichtefunktionaltheorie (DFT) optimiert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 EXPERIMENTELL

Für die Markierung von SCL-II- und Nieren-T1-Zellen wurden unsynchronisierte und synchronisierte Zellen mit verschiedenen Aktivitätskonzentrationen von 125-IUdR (3,7 kBq/mL; 11,1 kBq/mL; 37 kBq/mL; 73,7 kBq/mL; 111 kBq/mL) in Ab- und Anwesenheit einbaufördernder Additive (10^{-8} M FUdR und 10^{-8} M CdR) für 12 bis 14 h inkubiert. Nach Ende der Inkubationszeit wurde das Medium entfernt, die Zellen für weitere 24 h weiterkultiviert und danach die Zellzahlen und die Aktivitätsaufnahme bestimmt. Die Jod-Aktivität wurde sowohl in den Überständen, den Zellen und in isolierter DNA bestimmt. Die Mikrokernraten wurden in Cytochalasin-B behandelten SCL-II-Zellen (1 µg/mL) und Nieren-T1-Zellen (0,8 µg/mL) für verschiedene Aktivitätskonzentrationen an I-123- und I-125-Udr (1 kBq/mL bis 160 kBq/mL) ermittelt und jeweils >3.000 binukleäre Zellen pro Aktivitätskonzentration und Einzelmesspunkt ausgewertet.

Im alkalischen Comet-Assay wurden zur Auswertung der Kometen der aussagekräftige Parameter „%DNA in tail“ herangezogen. Die Auswertung erfolgte ebenfalls automatisiert (MetaSystems); es wurden zwischen 100 und 300 Kometen pro Aktivitätskonzentration ausgewertet. Bei den Apoptosebestimmungen mittels AnnexinV-FITC/PI-Assay wurden 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.

Für die Zellzyklusanalyse wurden die fixierten Zellen, 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-Zellen, S-Zellen und G2/M-Zellen diskriminiert. Auf Grund des prozentualen Anteils von Zellen in den jeweiligen Zellzyklusphasen (G1, S und G2/M) sowie deren zeitlichen Veränderungen nach Exposition mit I-123- und I-125-UdR können Aussagen über induzierte Zellzyklusarrests getroffen werden. Pro Messung wurden jeweils 10.000 Messereignisse/„events“ (Zellen) ausgewertet. Aus SCL-II-Zellen wurden RNA-Isolate gewonnen und deren Intaktheit und Güte über RNA-Mikrofluidik-Analysen geprüft. Zur Untersuchung von Bystander-Effekten wurden Zellkulturüberstände von extern gamma-bestrahlten (Cs-137) und I-123-Udr- sowie I-125-Udr-exponierten SCL-II- und Nieren-T1-Zellen gewonnen. Nichtexponierte Zellen wurden mit diesen Bystander-Überständen für 24 bis 48 h konfrontiert und die Mikrokernbildung quantitativ erfasst.

4.2 MODELL-THEORETISCH

Die DFT-Rechnungen wurden mittels der Software Gaussian 03 durchgeführt. Für Te wurde die Basis Lanl2DZ und für die anderen Atome die Basis 6-31G(d,p) verwendet, für Te wurde Lanl2DZ außerdem als effektives Kernpotential verwendet. Neben der Geometrie-Optimierung wurden zusätzlich Schwingungsfrequenzen und Eigenvektoren berechnet, um zwischen stabilen Zuständen und Übergangszuständen unterscheiden zu können.

5. ERGEBNISSE

5.1 EXPERIMENTELL

Nach Zugabe einbaufördernder Additive konnte ein I-125-UdR „uptake“ von bis zu 55% in beiden Zelllinien beobachtet werden, wobei die Nieren-T1-Zellen nach 7 h maximal und die SCL-II-Zellen nach 13 h maximal markiert waren. Ungefähr 40% der im Zellpellett festgestellten Aktivität war nach DNA-Isolation in der isolierten DNA feststellbar (DNA-assoziierte Aktivität).

Die Mikrokernrate in I-123- und I-125-UdR markierten SCL-II-Zellen war gegenüber den mit kaltem I-UdR behandelten Zellen signifikant erhöht, wobei die Aktivitäts-Wirkungskurve schnell (ab 8 kBq/mL I-125-UdR und 40 kBq/mL I-123-UdR) in eine Plateauphase übergang und dabei ein Niveau erreichte, das vergleichbar 1,5 Gy akuter externer Gamma-Bestrahlung (Cs-137) war. Die Mikrokernrate in I-125-UdR war im Vergleich zu I-123-UdR bei vergleichbaren akkumulierten Zerfällen leicht erhöht (15% vs. 10%).

Die Zellzyklusanalysen zeigten bei beiden Zelllinien bereits bei kleinen Aktivitätskonzentrationen einen deutlichen G2/M-Zellzyklusphasenarrest. Nieren-T1-Zellen zeigten einen massiv ausgeprägten G2/M-Zellzyklusarrest nach I-125-UdR-Exposition. Dieser war bis zu einer eingesetzten Gesamtaktivität von 12 kBq I-125-UdR zum Untersuchungszeitpunkt 24 h nach Ende der Exposition reversibel. Die Stärke des G2/M-Zellzyklusarrests ist für beide Nuklide identisch und bei Nieren-T1-Zellen mit 8 Gy akuter externer Cs-137-Gamma-Bestrahlung vergleichbar.

Sowohl in SCL-II-Zellen als auch in Nieren-T1-Zellen wurde nach Markierung der Zellen mit I-123- und I-125-UdR Apoptose induziert. Die Apoptoseinduktion unmittelbar nach Markierungsende war in SCL-II Zellen bei I-125-UdR wesentlich stärker ausgeprägt als bei I-123-UdR. Zu späteren Zeitpunkten (24 h nach Markierungsende) war die Apoptoseinduktion nach Zugabe von 8 kBq/mL I-125-UdR vergleichbar mit der nach Zugabe von 40 kBq/mL I-123-UdR.

Im alkalischen Comet-Assay zeigte sich in Nieren-T1-Zellen, dass bei eingesetzten Aktivitätskonzentrationen von 4 und 8 kBq/mL I-125-UdR vergleichbare Chromatinschädigungen („% DNA in tail“) wie nach 8 Gy akute externe Gamma-Exposition auftraten. In SCL-II-Zellen zeigte die vergleichende Analyse der Daten, dass bei einer Gesamtaktivität von 24 kBq I-125-UdR gleiche Chromatinschädigungen („% DNA in tail“) beobachtet wurden wie nach Applikation von 48 kBq I-123-UdR.

Erste RNA-Isolierungen wurden erfolgreich durchgeführt und die gewonnene RNA war in Qualität und Quantität ausreichend für die geplanten DNA-Microarray-Versuche.

Erste Experimente zum Bystander-Effekt zeigten, dass bezüglich der Mikrokerninduktion in beiden Zelllinien, nach Zugabe von Zellkulturüberständen aus zuvor hoch bestrahlten (6 und 12 Gy akute Cs-137-Gamma-Strahlung) Kulturen, schwache, aber signifikante Bystander-Effekte zu beobachten waren.

5.2 MODELL-THEORETISCH

5-Telluro-2'-deoxyuridin

Im Vergleich zu 5-Tellurouracil erwies sich das 5-Telluro-2'-deoxyuridin-Molekül als weniger stabil bei positiver Molekülladung. Bereits bei einer Ladung von +3 wird 5-Telluro-2'-deoxyuridin instabil und die C(4') - C(5') Bindung bricht, d. h. die CH_2OH^+ Gruppe wird abgespalten. Wird die Ladung wieder reduziert auf +1 oder 0, so verändert sich die Struktur derart, dass sich der pentagonale Ring zwischen den Atomen C(1') und O(4') öffnet und bis zu einer Ladung von +6 stabil bleibt.

Bei einer Ladung von +7 wird eine CHOH^{2+} und eine CHO^+ Gruppe abgespalten. Diese Konfiguration existiert mit den Ladungen +1 bis +5. Für die Ladungen 0 bis +3 existiert auch eine Struktur, bei der das Te-Atom nur an C(5) gebunden ist.

Bei einer Ladung von +6 wird Te^{2+} abgespalten und aus dem hexagonalen Ring wird ein pentagonaler Ring mit einer CO-Gruppe. Dieses Molekül existiert für die Ladungen +1 bis +5. Wird die Ladung wieder auf Null reduziert, so bildet sich eine Struktur, bei der einer der beiden pentagonalen Ringe geöffnet ist. Diese existiert für Ladungen bis +3. Wird die Ladung hier auf +6 erhöht, so wird ein Proton emittiert und ein Molekül mit der Ladung 5+ entsteht. Wird die Ladung wiederum auf Null reduziert, so spaltet sich die CO-Gruppe ab, wird sie auf +6 erhöht, so führt dies zur Emission eines Protons und dem Bruch beider pentagonaler Ringe.

5-Telluro-2'-deoxyuridin-3',5'-biphosphat

Im Vergleich zu 5-Telluro-2'-deoxyuridin wirken die beiden Phosphatgruppen in 5-Telluro-2'-deoxyuridin-3',5'-biphosphat stark stabilisierend. Abgesehen von einer Umlagerung einer OH-Gruppe und der Öffnung

des pentagonalen Rings bleibt 5-Telluro-2'-deoxyuridin-3',5'-biphosphat bis zu einer Ladung von +7 unbeschädigt.

Im Einzelnen ergaben sich nach Ladungserhöhung folgende Modifikationen: Bei +2: Das Te-Atom ist gebunden an C(5), O(4) und an das Sauerstoffatom O(6) der an C(5') gebundenen Phosphatgruppe. Zusätzlich entsteht eine Wasserstoffbrücke von O(7) zu O(11) zwischen den beiden Phosphatgruppen. Bei +3: Die Brücke zwischen Te und der Phosphatgruppe öffnet sich wieder, aber die Bindung zwischen Te und O(6) ist stärker als die Phosphat-interne Bindung zwischen P(5') und O(6), so dass die betroffene OH- Gruppe von dieser Phosphatgruppe zum Te-Atom wandert. Zusätzlich öffnet sich die Te-O(4)-Bindung wieder, so dass die Te-OH-Gruppe nur an C(5) gebunden ist. Die Wasserstoffbrücke von O(7) zu O(11) besteht weiter, aber das Brücken-Wasserstoffatom H(7) ist nun enger an O(11) als an O(7) gebunden. Bei +4: Die Wasserstoffbrücke öffnet sich wieder, wobei H(7) an O(7) gebunden ist. Bei +5: Das Te-Atom ist an C(5) und an O(4) gebunden, sonst ändert sich nichts. Bei +6 und +7: Der pentagonale Ring zwischen C(3') und C(4') bricht. Bis zu diesen Ladungen wird nichts vom ursprünglichen Molekül abgespalten. Bei +8: Die mit dem O(4')-Atom beginnende Gruppe in zwei Teilen, POOHOCH_2^{2+} und CHO^+ , abgespalten. Dieser Bruch entspricht einem Einzelstrangbruch in der DNA. Auf Grund des hohen Rechenzeitaufwands für die Geometrieoptimierung des großen 5-Telluro-2'-deoxyuridin-3',5'-biphosphat-Moleküls wurde hier darauf verzichtet, Strukturuntersuchungen bei wieder reduzierter Ladung durchzuführen. Gleichwohl wurde der erste entscheidende Bruch, die Abspaltung von POOHOCH_2 und CHO , näher untersucht, indem die entsprechenden Übergangszustände für die Ladungsstufen +6 und +7 dieser Struktur ermittelt wurden. In beiden Fällen konnte der Übergangszustand nur für den Bruch der Bindung zwischen C(1') und O(4') bestimmt werden, d. h. für die Abspaltung von POOHOCH_2 und CHO zusammen als $\text{POOHOC}_2\text{H}_3\text{O}$. Versuche, Übergangszustände für den Bruch der Bindung zwischen C(4') und C(5') zu finden, d. h. für die Abspaltung von POOHOCH_2 allein, scheiterten, da sich die CHO -Gruppe vom verbleibenden Molekül weg bewegte und sich wieder mit dem POOHOCH_2 -Bruchstück verband (Gesamtladung +7), oder es bildete ein separates Bruchstück (Gesamtladung +6). Die Teilladung des $\text{POOHOC}_2\text{H}_3\text{O}$ -Fragments beträgt +2 für beide Gesamtladungen +6 und +7. Die Energieschwellen für den Bruch der Bindung betragen nur 0,003 bzw. 0,005 Hartree.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

6.1 EXPERIMENTELL

Die Aufnahmekinetiken für beide untersuchten Nuklide (I-123 und I-125) sollen 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 an. Zudem sollen die Zellzyklusanalysen zeitlich 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 ausgesuchten Aktivitätskonzentrationen sollen wiederholt werden, wobei der Untersuchungszeitpunkt zu späteren Zeitpunkten ($>>40$ h) hin verschoben werden soll, um mögliche Artefakte durch den ausgeprägten G2/M-Arrest auszuschließen. Die exakten Untersuchungszeitpunkte sollen in Abstimmung mit den Ergebnissen der erweiterten Zellzyklusuntersuchungen festgelegt werden.

Bystander-Untersuchungen zur Mikrokernbildung und Apoptoseinduktion sollen mit Kulturmedien aus zuvor I-123- und I-125-UdR-exponierten Zellen durchgeführt werden. SCLII-Zellen sollen auf das Kulturmedium von Nieren-T1-Zellen umgestellt werden. Nach erfolgreicher Adaptierung sollen SCL-II-Zellen mit den „bystander“-Medien von den, nach externer Gamma-Bestrahlung, stärker reagierenden Nieren-T1-Zellen konfrontiert werden, um zu klären, ob die Nierenzellen den Bystander-induzierenden Faktor effektiver produzieren oder ob SCL-II-Zellen den entsprechenden Rezeptor schwächer exprimieren.

Untersuchungen zur Strangbruchhäufigkeit in isolierter Plasmid-DNA und in synthetisierten DNA-Molekülen sollen durchgeführt werden.

Die RNA-Isolierungen für die Genexpressionsuntersuchungen sollen fortgeführt werden. Für ausgewählte Aktivitätskonzentrationen und Zeitpunkten nach Markierungsende sollen in SCL-II-Zellen zuerst die Caspaseaktivität von Caspase-3 als wichtigste Effektorcaspase bestimmt werden. Hierbei soll in einem ersten Schritt die aktive Form der Caspase-3 im Western/Immunoblot dargestellt werden.

Modell-theoretisch

Nach der Umstellung der Monte-Carlo-Programme zur Generierung von Auger-Elektronen-Spektren sollen für beide Jodnuklide Einzelspektren wie auch mittlere Spektren gerechnet werden. Auf der Basis der Einzelspektren sollen anschließend sowohl Bahnspur-Rechnungen zum besseren Verständnis der Strahlenwirkungsmechanismen auf der molekularen Ebene wie auch dosimetrische Berechnungen durchgeführt werden, um aus Unterschieden in der zellulären Gesamtenergiedeposition beider Nuklide ihre unterschiedlichen biologischen Wirksamkeiten interpretieren zu können.

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 St.Sch. 3608S03004	Beginn 01.07.2008	Ende 28.02.2011	Fördermittel EUR 321.445,-
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 neben HAS-2, GRID-1 und RET noch drei weitere Kandidatengene, 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 KOPIENZAHIVERÄNDERUNGEN

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 (Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung), 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 markiert und zusammen mit unterschiedlich markierter Referenz DNA (Desoxyribonucleinsäure) 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 Reconstruction 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 AUFARBEITUNG DER GEWEBEPROBEN

Es wurden von 100 Fällen (50 Liquidatorinnen, 50 Kontrollen) aus Serienschritten von Paraffingewebe DNA isoliert. Die DNA-Proben wurden mittels Nanodrop Spektroskopie quantifiziert und einer Multiplex PCR unterworfen, um die Qualität der DNA zu überprüfen.

4.3 ARRAY-CGH ANALYSE

Es wurden von 50 Tumoren von Liquidatorinnen und von 50 Kontrolltumoren Array-CGH Analysen erfolgreich durchgeführt. Die statistische Analyse der nachgewiesenen Kopienzahlveränderungen wurde begonnen.

4.4 IMMUNHISTOCHEMISCHE UND FISH ANALYSEN BEKANNTER BRUSTKREBSGENE

84 Fälle wurden für Östrogen-, Progesteronrezeptor, c-kit, Cytokeratin 5/6, TP53, und ki67 immunhistochemisch untersucht und ausgewertet. Bei 18 weiteren Fällen sind die Färbungen durchgeführt, die Auswertung wird demnächst abgeschlossen. Für Her2/neu wurden FISH Analysen in 44 Fällen bisher durchgeführt.

4.5 DOSISREKONSTRUKTION

Es wurden 60 Patientinnen ausgewählt (Liquidator oder Evakuierte). Mit 31 Patientinnen wurden Interviews geführt, von 25 Personen wurden bereits Dosen rekonstruiert.

5. ERGEBNISSE

Im Berichtszeitraum wurden folgende Ergebnisse erzielt:

5.1 ETABLIERUNG EINES MAMMAKARZINOM-KOLLEKTIVS UND DOSISREKONSTRUKTION

Es konnte auch das Kontrollkollektiv vollständig erstellt und die Gewebeproben bearbeitet werden. Die Dosisrekonstruktion für die exponierten Patientinnen wurde begonnen, konnte aber noch nicht abgeschlossen werden, da die Interviews mit den Patientinnen sich als sehr schwierig und langwierig gestalten.

5.2 NACHWEIS VON CHROMOSOMALEN KOPIENZAHIVERÄNDERUNGEN

Es wurden in 50 Fällen von Liquidatorinnen sowie von 50 Kontrollfällen genomische Kopienzahlveränderungen nachgewiesen. Die Daten werden mittels hierarchischer Clusteranalyse und Korrelationsanalysen ausgewertet, um mögliche strahlenspezifische Marker und Korrelationen mit Tumorphänotypen aufzudecken.

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 werden statistisch ausgewertet und mit den nachgewiesenen genomischen Veränderungen verglichen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für den nächsten Berichtszeitraum sind folgende Arbeiten geplant:

- FISH Analysen an allen Tumoren für RET, HAS2, GRID1, ARF1, CPM, TBX3,
- Vervollständigung der retrospektiven Dosisermittlung bei den Liquidatorinnen,
- Analyse von Her2/neu und BRCA1/2 Veränderungen,
- Statistische Analyse aller erhobenen Daten.

Thema

Funktionelle Analyse molekularer Mechanismen der strahleninduzierten Apoptose, die nicht über direkte DNA-Schäden vermittelt werden

Subject

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

Kennzeichen

St.Sch. 3607S04531

Beginn

01.01.2008

Ende

31.12.2010

Fördermittel

EUR 362.690,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Helmholtz Zentrum München

Projektleitung

Prof. Dr. F. Eckardt-Schupp,
Dr. S. Mörtl

Fachbetreuung BfS

Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.1

verantwortlich für den Text

Dr. M. Angermeier

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Projektes ist die funktionelle Analyse verschiedener molekularer Mechanismen, die für die strahleninduzierte Apoptose verantwortlich sind. Es sollen vor allem DNA (Desoxyribonucleinsäure) schadenunabhängige Mechanismen untersucht werden, wobei insbesondere der Beitrag von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) als Apoptoseauslöser ermittelt werden soll. 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 MOLEKULARER MECHANISMEN FÜR DIE INDUKTION DER STRAHLENABHÄNGIGEN APOPTOSE

In definierten Zellsystemen werden verschiedene molekulare Mechanismen untersucht, die abhängig oder unabhängig von DNA-Schäden zu strahleninduzierter Apoptose führen oder antiapoptotisch wirken. Dazu sollen Gene bzw. Genprodukte aus den verschiedenen Apoptosemechanismen spezifisch herunterreguliert und deren Einfluss auf die Apoptose durch eine Analyse verschiedener Apoptoseendpunkte ermittelt werden. 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

Unterschiedliches Apoptoseverhalten in LUCY- (durch Transfektion mit dem Epstein-Barr-Virus gewonnene Zelllinien aus isolierten Lymphozyten junger Lungentumorprieten 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 sollen eventuelle Veränderungen an Proteinen der verschiedenen Apoptoseprozesse untersucht werden und ggf. auftretende Änderungen im Netzwerk apoptotischer Prozesse sollen dann ebenfalls in das in 2.1 zu erstellende Modell einfließen.

3. METHODIK

3.1 QUANTIFIZIERUNG STRAHLEN- UND ROS INDUZierter APOPTOSE NACH HERUNTER-REGULATION AUSGEWÄHLTER FAKTOREN

Die Expression spezifisch ausgewählter Gene wurde mittels RNA-Interferenz-Technologie in verschiedenen Zellsystemen herunterreguliert. Die Überprüfung der Herunterregulation erfolgte auf Proteinebene durch Western Blot (s. Programmreport 2008). Nach erfolgreichem knockdown wurde die Untersuchung der Apoptose mit funktionellen, bereits im Labor etablierten biochemischen und molekularbiologischen Standardme-

thoden durchgeführt und sowohl für strahleninduzierte und ROS abhängige bzw. DNA schadensvermittelte (ROS unabhängige) Apoptose verwendet.

3.2 CHARAKTERISIERUNG VON PATIENTENZELLINIEN

Das Apoptoseverhalten ausgewählter Zelllinien der KORA- und LUCY-Kohorten wurde mittels Immundetektion der PARP1(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 wurden mit Hilfe eines Proteinarrays der Fa. R&D Systems detektiert (s. Programmreport 2008).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 MOLEKULARE ANALYSE DER APOPTOSEMECHANISMEN

Insgesamt werden 15 Gene mittels chemisch synthetisierter siRNAs (short interfering Ribonucleinsäure) und verschiedenen Methoden in unterschiedlichen Zellsystemen herunterreguliert (s. Programmreport 2008). Zur Analyse und Quantifizierung der Apoptosemechanismen werden für jede Zelllinie zwei verschiedene Apoptosemarker etabliert und angewandt.

Zur Unterscheidung der Apoptoseauslöser „DNA-Schäden“ und „ROS“ werden beide Wege getrennt untersucht. Dazu wird der doppelstrangbruchinduzierende Topoisomerase II-Hemmer Etoposid verwendet, der höchstwahrscheinlich nur DNA schadensvermittelte Apoptose auslöst. Die Äquivalenzdosis von Etoposid, die einer Dosis von 10 Gy entspricht, wird mittels Analyse von γ H2AX (ein Histonprotein)-Foci ermittelt. Mit dieser identifizierten Dosis Etoposid wird das Apoptoseverhalten in den oben etablierten Zellsystemen und den ausgewählten Apoptosemarkern untersucht.

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 untersucht. In beiden Versuchsansätzen werden oben benannte Apoptosemarker (3.2.) verwendet und miteinander verglichen.

Der Proteinarray, der insgesamt 35 apoptoserelevante Proteine beinhaltet, wird ebenfalls an den LUCY- und KORA-Zelllinien durchgeführt (s. Programmreport 2008).

5. ERGEBNISSE

5.1 MOLEKULARE ANALYSE DER APOPTOSEMECHANISMEN

In den adhärenenten Zelllinien Hela und ScIII konnte eine gute Transfizierbarkeit mit lipidvermittelnden Reagenzien erzielt werden. Dabei konnte eine Reduktion der Expression von 11 (Hela) bzw. 10 (ScIII) Proteinen erreicht werden. Trotz der Austestung von 3-5 verschiedenen siRNA-Sequenzen konnte für die Rezeptoren Fas, Tnfr und Trail und den Ligand FasL keine ausreichende Herunterregulierung erreicht werden, in ScIII-Zellen konnte nur ein geringer Akt1-knockdown erzielt werden.

Die drei Suspensionszelllinien Jurkat, TK6 und 721 wurden mittels Elektroporation mit dem MikroPorator MP-100 der Fa. Peqlab transfiziert. Dabei zeigte die Linie Jurkat die stabilste und am besten zu reproduzierende Herunterregulierung und wurde im Weiteren verwendet. Grundsätzlich gestalteten sich allerdings die meisten Gene als schwer oder nur über einen sehr begrenzten Zeitraum herunterregulierbar.

Zur funktionellen Untersuchung der Apoptose in Hela- und ScIII-Zellen wurde die Analyse der enzymatischen Caspase3-Aktivität und der hypoploiden Zellpopulation herangezogen. Außerdem eignet sich der Nachweis der Spaltung von PARP1 sehr gut. Zusätzlich ermöglicht dies eine gleichzeitige Überprüfung der Herunterregulation im Western Blot. In Jurkat-Zellen wurden ebenfalls der Apoptosemarker PARP1-Spaltung und die Bestimmung der subdiploiden Zellpopulation verwendet. Statt der Analyse der enzymatischen Caspase3-Aktivität, für die sehr viele Zellen benötigt werden, wurden aktive Caspasen mit Hilfe eines fluoreszenzmarkierten Inhibitors im Durchflusszytometer nachgewiesen, da durch die Transfektionsmethode nur wenige Zellen zur Verfügung stehen.

Die Ergebnisse zeigen, dass besonders die Herunterregulierung von Komponenten der rezeptorvermittelten Apoptose (verschiedene Todesrezeptoren, Caspase-8, EGFR, IGF1R) die strahleninduzierte Apoptose ver-

ändert. Deshalb fokussieren sich die nächsten Arbeiten auf diese Faktoren und werden mit einigen Faktoren des intrinsischen Apoptoseweges oder antiapoptotischen Komponenten verglichen. Ein wichtiges Auswahlkriterium war hierbei ein effizienter knockdown.

Die drei untersuchten Zelllinien zeigen ein weitgehend gleiches Apoptoseverhalten nach Bestrahlung. Deshalb wurden weiterführende Experimente nur mit einer Zelllinie durchgeführt. Da sich HeLa-Zellen sehr gut transfizieren lassen, die Qualität des knockdowns meist sehr gut ist und sie ein reproduzierbares Apoptoseverhalten zeigen, wird diese Zelllinie weiter verwendet.

Nach der Auswahl einer Dosis von 10 μ M Etoposid, die bei der Bestimmung der γ H2AX-Aggregaten in HeLa-Zellen einer Dosis von 10 Gy entspricht, kann ebenfalls gezeigt werden, dass die rezeptorvermittelte Apoptose nach Bestrahlung verändert ist, wenn auch in geringerem Maße, was möglicherweise durch den fehlenden ROS vermittelten Anteil an der Apoptose erklärt werden kann.

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 und miteinander verglichen (s. Programmreport 2008). Eine Untersuchung der Apoptose nach Etoposidbehandlung findet derzeit noch statt. 20 abgeleitete KORA- und LUCY-Zelllinien wurden im Proteinarray analysiert (s. Programmreport 2008).

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Bedeutung der ausgewählten Gene für die strahleninduzierte Apoptose wurde bereits bestimmt. Um die Bedeutung von ROS für die strahleninduzierte Apoptose zu untersuchen wurde die Bedeutung dieser Faktoren für die Apoptoseinduktion auch nach Etoposidbehandlung (ROS unabhängige DNA-Doppelstrangbruch-induktion) untersucht. Nun soll in den nächsten Arbeiten zusätzlich die Bedeutung H_2O_2 induzierter Apoptose analysiert werden. Mit diesen verschiedenen Versuchsansätzen soll der mechanistische Zusammenhang zwischen ROS und Apoptose aufgeklärt werden und eine Aussage darüber getroffen werden, welche Faktoren ROS abhängig zu Apoptose führt.

Diese Erkenntnisse über ROS vermittelte Aktivierung der verschiedenen Apoptosemechanismen sollen in den ausgewählten lymphoblastoiden Zelllinien des Patientenmaterials ebenfalls angewandt werden. Dazu soll sowohl der nur DNA schadensvermittelte Anteil (durch Etoposidbehandlung) als auch der ROS aktivierte Anteil an der Apoptose beschrieben werden. Damit soll eine Aussage getroffen werden, welche ROS aktivierten Mechanismen zum unterschiedlichen Apoptoseverhalten nach Bestrahlung von Zelllinien unterschiedlicher Individuen beitragen.

Themenbereich 04

Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Subject area 04

Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema

Medizinphysikalische Optimierung und Risikobewertung diagnostischer und therapeutischer Strahlenanwendungen

Subject

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

Kennzeichen

St.Sch. 3608S04001

Beginn

01.07.2008

Ende

30.06.2012

Fördermittel

EUR 344.901,-

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 (MPE) 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 nicht-invasiv 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 MRT (Magnetresonanztomographie)- und PET / CT (Positronenemissionstomographie / Computertomographie)-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, nämlich:

- das ^1H -Chemical-Shift-Imaging (^1H -CSI) an einem 3-Tesla MR-System sowie
- die dynamische PET-Bildgebung unter Verwendung des Glukoseanalogons [^{18}F] Fluordesoxyglukose (FDG-PET) in Kombination mit
- 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 Flusssichten 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

Für die Optimierung der ^1H -CSI-Messtechnik wurden wässrige Lösungen der wichtigsten Hirnmetabolite Natriumlaktat, N-Acetyl-Aspartat, Cholin und Creatin sowie verschiedene Mischungen dieser Metabolite hergestellt und auf einen neutralen pH-Wert gepuffert. Diese wurden dann entweder in einfachen Glasgefäßen oder im Hoffmann-Brain-Phantom gemessen, das das Verteilungsmuster der genannten Metabolite im menschlichen Gehirn simuliert. Am 3-Tesla MR-System wurden verschiedene generische CSI-Sequenzen analysiert und vorteilhafte Einstellungen für das Shim-Verfahren zur Homogenisierung der Magnetfelder sowie die Fett- und Wasserunterdrückung ermittelt. Im Anschluss wurden die Sequenzparameter systematisch modifiziert, um einen guten Kompromiss zwischen Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) sowie akzeptabler Messzeit bei maximaler Auflösung zu finden. Für das Postprocessing der Messdaten (Wasser- und Fettkorrektur, Fouriertransformation, Baselinekorrektur, Phasenkorrektur sowie Spektrenanpassung) wurde ein Protokoll mit dem proprietären Auswerteprogramm des Herstellers erstellt.

Im Berichtszeitraum wurde im Klinikum ein räumlich hochauflösendes PET / CT-System der neuesten Generation implementiert, das speziell für die molekulare Bildgebung konzipiert wurde. Da für dieses System die für die Quantifizierung von Aktivitätskonzentrationen relevanten physikalischen Leistungsparameter noch nicht bekannt sind, wurde mit Messungen zur Charakterisierung der Ortsauflösung sowie der implementierten Rekonstruktions- und Korrekturverfahren begonnen.

Als Grundlage für die geplanten DCE-CT-Untersuchungen am PET / CT-System wurden in Kooperation mit dem BfS umfangreiche Phantommessungen zur Optimierung der DCE-Bildgebung unter dem Gesichtspunkt der Strahlenexposition und des Bildrauschens durchgeführt.

4.2 WIRKUNG STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE MIKROZIRKULATION

Zu Beginn des Projektes wurde der Stand der Forschung zur Wirkung statischer Magnetfelder auf die Mikrozirkulation in einem Exposé zusammengefasst. Entgegen der ursprünglichen Konzeption steht am 7-Tesla MR-System noch keine großvolumige Empfangsspule zur Verfügung, so dass die Messungen nicht wie geplant an der Unter- und Oberarmmuskulatur von Probanden realisiert werden können. Stattdessen wurden MR-Untersuchungen mit der vorhandenen Kopfspule an der senkrecht zueinander orientierten Hand- und Finger-muskulatur durchgeführt. Der erste Arbeitsschritt bestand in der Implementierung einer Saturation-Recovery-Sequenz (SRTF) für die Perfusionsmessungen und deren Validierung anhand von Messungen an speziell erstellten Phantomen.

5. ERGEBNISSE

5.1 FUNKTIONELLE BILDGEBUNG FÜR DIE BIOLOGISCH-ADAPTIERTE STRAHLENTHERAPIE

Verschiedene Messsequenzen zur Erstellung von dreidimensionalen Metabolitkarten mittels ^1H -CSI wurden implementiert und optimiert. Die bisherigen Ansätze ergaben einen akzeptablen Kompromiss zwischen räumlicher Auflösung, SNR und Gesamtdauer der Aufnahme, jedoch ist die Parameteroptimierung und insbesondere die Nachverarbeitung der Daten noch nicht abgeschlossen.

Messungen zur Ortsauflösung der PET-Komponente des PET / CT-Systems wurden für das Radiopharmakon ^{18}F -FDG durchgeführt, mit der Auswertung der Daten wurde begonnen. Mittels TLD (Thermolumineszenzdetektor)-Messungen wurde die Dosisverteilung im Kopf eines Alderson-Phantoms für ein Standard-DCE-Protokoll (270 mAs, 80 kVp) gemessen, die maximale Hauteintrittsdosis lag bei etwa 300 mGy. Darüber hinaus wurde für dieses Protokoll das Bildrauschen an einem wassergefüllten Kugelphantom als Funktion des Röhrenstroms und der Pixelauflösung bestimmt. Die Auswertung ergab, dass die Scanparameter seitens des Herstellers für die Untersuchung von ischämischen Hirnerkrankungen optimiert wurden. Für die geplanten DCE-Untersuchungen zum Strahlentherapiemonitoring bei Patienten mit Hirnmetastasen kann ein dosisreduziertes Protokoll eingesetzt werden.

5.2 WIRKUNG STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE MIKROZIRKULATION

Die abgeschlossene Literaturstudie wurde gemäß Arbeitsplan an den Fachbetreuer des BfS geschickt. Für die Messungen am 7-Tesla MR-System wurde eine SRTF-Sequenz implementiert, anhand von Messungen an den entwickelten Phantomen validiert und im Hinblick auf die Bildgebung der Hände erprobt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im kommenden Berichtszeitraum soll die Implementierung und Optimierung der funktionellen Bildgebungstechniken für beide Teilprojekte abgeschlossen werden. Des Weiteren sind die für die Berechnung physiologischer und metabolischer Gewebeparameter sowie die Korrelation der multimodalen Bilddaten erforderlichen Softwareprogramme zu implementieren. Parallel zu diesen methodischen Arbeiten wird bei der zuständigen Ethikkommission und dem BfS ein Antrag zur Durchführung der geplanten Patienten- bzw. Probandenstudie gestellt.

Thema Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren			
Subject <i>Survey to determine frequency and radiation dose from nuclear medical diagnostics</i>			
Kennzeichen St.Sch. 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 sollen Daten zur Häufigkeit und Strahlenexposition bei nuklearmedizinischen Untersuchungen in Deutschland erhoben werden. Die Studie soll deutschlandweit auf Basis von Daten einer bezüglich Praxisgrößen und Krankenhausgrößen übergreifenden Gruppe von Nuklearmedizinern durchgeführt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Studie verläuft seriell auf die oben angegebene Zielsetzung heraus. Gleichwohl lassen sich drei Teilziele benennen:

- Datenrekrutierung: Rekrutierung einer ausreichend unterschiedlichen Gesamtheit an Nuklearmedizinern,
- Datenerhebung: Erhebung von statistischen Daten zu Untersuchungen in den Kliniken / Praxen nach Nr. 2.1,
- Datenanalyse: Analyse der Daten und Ermittlung einer mittleren effektiven Dosis je untersuchtem Patienten.

3. METHODIK

3.1 DATENREKRUTIERUNG

Kliniken / Praxen sollen in ausreichender Anzahl und Diversität durch Fachverbände, Projektpartner und direkte Ansprache rekrutiert werden.

3.2 DATENERHEBUNG

Von Untersuchungen der unter 3.1 rekrutierten Kliniken / Praxen aus einem im Vorfeld synchronisierten Zeitraum sollen Daten erhoben werden.

3.3 DATENANALYSE

Die Daten werden in ein einheitliches Format überführt und statistische Größen zu den Daten aus 3.2. berechnet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 DATENREKRUTIERUNG

Teilnehmer zur Studie wurden auf unterschiedliche Arten geworben:

1. Direktansprache von Nuklearmedizinern, die entweder persönlich bekannt waren oder die aus allgemeinen Überlegungen, z. B. als bedeutende Universitätsklinik, als relevant angesehen wurden.

2. Ansprache einer größeren Gruppe von Nuklearmedizinern über Multiplikatoren; die Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin (DGN) sowie die Ärztekammer Bayern haben sich bereit erklärt, das Vorhaben offiziell zu unterstützen und haben Informationsmaterialien zum Vorhaben an alle Mitglieder versandt. Zudem hat die Firma iSoft Kunden ihres „Radiology Information System“ (RIS) auf das Vorhaben hingewiesen und zur Unterstützung ermuntert.
3. Ansprache von weiteren Nuklearmedizinern, die von einzelnen an der Studie teilnehmenden Nuklearmedizinern als relevant angesehen wurden.

Es zeigte sich als Problem, dass die Information über die Kassenzugehörigkeit mit im vom BfS geforderten Datensatz enthalten ist. Die hiermit verbundene Herausgabe von Daten, die potenziell eine Abschätzung der Einnahmen einzelner Praxen bzw. Kliniken ermöglicht, war für einige Nuklearmediziner Grund, das Vorhaben nicht zu unterstützen.

4.2 DATENERHEBUNG

Die Studie basiert auf gelisteten Daten sämtlicher Untersuchungen von Nuklearmedizinern in einem Zeitraum von zwei Jahren. Als Untersuchungszeitraum wurden die Kalenderjahre 2007 und 2008 festgelegt. Im Rahmen des Vorhabens werden primär Informationen zum Alter, Geschlecht und Krankenversicherungsstatus des Patienten, zum untersuchten Organsystem, dem Radiopharmakon sowie der applizierten Aktivität erhoben.

Die Datenerhebung orientiert sich an der vor Ort bei den das Vorhaben unterstützenden Nuklearmedizinern genutzten Dokumentation. Die im Rahmen des Vorhabens benötigten Daten sind teilweise vollständig und mit geringem Aufwand aus der elektronischen Dokumentation der Nuklearmediziner zu erhalten. An anderen Stellen erfolgt die Dokumentation noch vollständig papierbasiert. An diesen Stellen war es notwendig, sämtliche Daten in ein elektronisches Format zu überführen. Vielfach erfolgt die Dokumentation in einer Form, die zwischen den beiden Extrema liegt.

Vollständige Daten liegen von 19 Kliniken und 16 Praxen vor. In weiteren nuklearmedizinischen Einrichtungen findet eine Datenerhebung noch statt. Die bisher erhobenen Daten stammen insbesondere aus den Bundesländern Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Bremen, Hamburg und Berlin. Aus den anderen Bundesländern stammen weniger Daten. Insbesondere die östlichen Bundesländer sind kaum vertreten. Die Daten stammen aus Kliniken und Praxen deutlich unterschiedlicher Größen - von einigen Hundert Untersuchungen im Jahr bis zu mehr als 15.000 Untersuchungen im Jahr.

4.3 DATENANALYSE

Die Daten einiger Nuklearmediziner wurden bereits teilweise in ein einheitliches Datenformat überführt, bei anderen Nuklearmedizinern steht diese Datenüberführung noch aus.

Die Dosiskonversionsfaktoren der Radiopharmaka wurden auf Basis der ICRP-Publikationen 106, 80 und 53 festgelegt.

5. ERGEBNISSE

Die Rekrutierung von nuklearmedizinischen Einrichtungen, die an dem Vorhaben teilnehmen, war erfolgreich. Die untersuchte Thematik und die für die einzelnen Nuklearmediziner absehbar hohe Relevanz des Vorhabens war vielfach Grund für die Teilnahme am Vorhaben. Die im Projektauftrag geforderte Anzahl an Kliniken und Praxen, deren Daten mindestens in der Studie berücksichtigt werden sollen, ist bereits deutlich übererfüllt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Es ist vorgesehen, die Anzahl der teilnehmenden nuklearmedizinischen Einrichtungen noch leicht zu erhöhen. Eine weitere deutliche Erhöhung der Teilnehmerzahl wäre möglich, ist aber aus Ressourcengründen und vor dem Hintergrund der bereits jetzt übererfüllten Anforderungen nicht möglich.

Die Daten werden aktuell aufbereitet. Eine statistische Analyse zur Berechnung der Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren soll nach der Datenaufbereitung erfolgen.

Thema			
Entwicklung und Implementierung von Methoden zur Dosis-Reduktion im Bereich der digitalen Röntgen-Mammographie sowie klinische Evaluation dieser Methoden mittels ROC-Studien			
Subject			
<i>Development and Implementation of methods for dosereduction in the area of digital X-ray mammography and their clinical evaluation using ROC-studies</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3608S04489	Beginn 01.03.2008	Ende 31.08.2010	Fördermittel EUR 333.170,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum, München			
Projektleitung Dr. C. Hoeschen	Fachbetreuung BfS Dr. J. Griebel / AG-SG 2.1		verantwortlich für den Text Dr. C. Hoeschen

1. ZIELSETZUNG

Im Einsatz digitaler Röntgen-Verfahren im Bereich der Früherkennung, insbesondere im deutschen Mammographie-Screeningprogramm, sind Dosis-Reduktionspotentiale von zentraler Bedeutung, da hier die Strahlenexposition entweder weitgehend gesunde Personen betrifft oder aber Personen, bei denen allenfalls erhöhte Risikofaktoren für eine schwerwiegende Erkrankung bestehen.

Das Ziel dieses Vorhabens ist die Implementierung dosissparender Verfahren für die digitale Mammographie und ihre Evaluierung mittels physikalischer und observerbasierter Testmethoden für die Anwendung im Mammographie-Screening.

2. EINZELZIELSETZUNG

Folgende Ziele des Projektes zur Erreichung des Gesamtzieles wurden definiert:

2.1 ENTWICKLUNG UND IMPLEMENTIERUNG VON DOSISSPARENDEN VERFAHREN

Ein prinzipielles Verfahren zur strukturerhaltenden Rauschreduktion in digitalen Aufnahmesystemen und damit zur Möglichkeit der Dosisreduktion wurde im Vorfeld des Projektes entwickelt. Dieses Verfahren muss für die Gegebenheiten der Mammographie angepasst werden.

2.2 PHYSIKALISCH-TECHNISCHE CHARAKTERISIERUNG DER DOSISSPARENDEN VERFAHREN

Physikalische Testverfahren auf Basis der IEC Norm 62220-1-2 müssen entwickelt werden, die eine Vergleichbarkeit der neuen Verfahren mit herkömmlicher, digitaler Mammographie ermöglichen.

2.3 KLINISCHE EVALUATION DER DOSISSPARENDEN VERFAHREN IM VERGLEICH ZU HERKÖMMLICHEN VERFAHREN MITTELS ROC-STUDIEN

Angepasst an Fragestellungen des Mammographie-Screenings müssen vergleichende klinische Evaluationen der Verfahren aus 2.1 angewandt werden. Daher sind ROC (receiver operator characteristic)-Studien zur Fragestellung der Früherkennung von Tumoren der Brust für die digitale Mammographie durchzuführen. Die ROC-Studien sind so zu konzipieren, dass sie dem Stand von Wissenschaft und Forschung entsprechen und dass sie eine statistisch belastbare Aussage darüber erlauben, ob die klinische Aussagekraft der dosissparenden Verfahren zumindest vergleichbar ist mit derjenigen herkömmlicher Verfahren.

3. METHODIK

Ein hochauflöstes Mammaphantom soll generiert werden. Dieses wird zur Simulation verschiedener bildgebender Verfahren (insbesondere verschiedener Strahlenqualitätseinstellungen) für die Mammographie mit Hilfe von Monte-Carlo Simulationen genutzt.

Das Verfahren zur strukturerhaltenden Rauschreduktion wird auf die Anforderungen der digitalen Mammographie angepasst.

Ein Messsystem zur normgerechten Messung der Detektiven Quantenausbeute (engl. detective quantum efficiency, DQE) für Standardprojektionsradiographien wird für die Mammographie umgerüstet bzw. hergestellt. Hinzu kommen Verfahren, die die Vergleichbarkeit in physikalischen Messungen der neuen Systeme mit den bisherigen Verfahren demonstrieren sollen.

Ein Studiendesign mit Orientierung an den Screening relevanten Fragestellungen wird entworfen. Für die projektierte ROC-Studie werden die Vor- und Nachteile von Hybridaufnahmen versus vieler Screeningaufnahmen evaluiert. Die statistischen Vorgaben zu Pooling und Auswertern werden analysiert.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Generierung des Mammaphantoms wurde bereits im letzten Statusbericht beschrieben. Im Jahr 2009 wurden Simulationen für unterschiedliche Strahlenqualitäten mittels der Software EGSnrc und GEANT 4 durchgeführt, die sowohl konventionelle Röntgenbildgebung als auch monoenergetische Strahlung und energieaufgelöste Detektoren einbezogen.

Das Verfahren zur strukturerhaltenden Rauschreduktion wurde hinsichtlich des anfangs unnatürlich wirkenden Untergrunds überprüft und verschiedene Modifikationen untersucht. Eine Programmumgebung zur automatischen Anwendung der Rauschreduktion wurde erarbeitet.

Der physikalische Testaufbau gemäß der internationalen Norm IEC 62220-1-2 wurde komplettiert und zur Messung der DQE an mehreren digitalen Mammographiesystemen eingesetzt.

In Konsequenz des ersten Statusgesprächs wurden biostatistische Überlegungen für eine ROC-Studie angestellt. Die Randbedingungen für diese Studie sind die Verwendung realer Mammographien aus dem Screening, Diagnose durch Fachärzte anhand der anerkannten BI-RADS-Klassifikation (Breast Imaging Reporting and Data System) und Gewichtung der Rate echt positiver sowie falsch positiver Befunde. Zusätzlich wurde eine Bewertung entwickelt, die einen Vergleich und ggf. eine Kompensation der unterschiedlichen Bewertungen verschiedener Radiologen erlauben soll. Arbeiten an der entsprechenden Auswertungssoftware haben begonnen.

Die Weiterverfolgung der Strukturcharakterisierung pathologischer Strukturen war nach der Festlegung auf die Verwendung klinischer Bilder nicht mehr erforderlich.

5. ERGEBNISSE

5.1 ENTWICKLUNG UND IMPLEMENTIERUNG VON DOSISSPARENDEN VERFAHREN

Ein Teil der Ergebnisse der Simulationsrechnungen wurde auf dem Weltkongress Medizinphysik im September 2009 vorgestellt.

Die Ergebnisse der Simulationen zur spektralen Optimierung zeigen das größte Dosisreduktionspotential für weltweit in Entwicklung befindliche monoenergetische Strahler und energieaufgelöste Bildgebung. Mit der hierbei verwertbaren Information über Geometrie und Streustrahlung ließe sich eine Dosisreduktion um einen Faktor 2 erreichen. Das in aktuellen Mammographiesystemen durch Veränderungen in den Bestrahlungsbedingungen erreichbare Dosisreduktionspotential ist dagegen gering bis nicht signifikant im Hinblick auf die Simulationsunsicherheiten und die mögliche Parametervariation. Ausgenommen davon ist eine Anpassung der Spektren bzw. kVp an die Brustdicke und Gewebezusammensetzung, welche bereits klinisch praktiziert wird.

Dem gegenüber steht die von der Röntgentechnik weitgehend unabhängige mögliche Dosisersparnis von 50% durch das in der ROC-Studie zu beurteilende Rauschreduktionsverfahren. Durch Veränderung des Filtermechanismus, der zur Rauschreduktion auf die mittels Wavelets transformierten Bilddaten angewandt wird, konnte der Algorithmus unter Beibehaltung der strukturerhaltenden Eigenschaften hinsichtlich der Rauschreduktion und des optischen Eindrucks des entrauschten Untergrunds verbessert werden. Die entwickelte Programmumgebung erlaubt eine einfache Bearbeitung von Bildern, stellt jedoch noch hohe Hardwareanforderungen.

5.2 PHYSIKALISCH-TECHNISCHE CHARAKTERISIERUNG DER DOSISSPARENDE VERFAHREN

Einige Messergebnisse des DQE-Messaufbaus sowie die erzielbare Genauigkeit wurden für eine Präsentation auf der Tagung SPIE Medical Imaging 2010 vorbereitet und werden im Proceedingsband veröffentlicht. Messungen an verschiedenen aktuellen volldigitalen Mammographie-Systemen haben gezeigt, dass neben der durch die Norm IEC 62220-1-2 vorgegebenen Systemcharakterisierung mit dem Aufbau auch Fehlfunktionen der Gerätesoftware sowie gerätespezifische Besonderheiten erkannt und untersucht werden können.

Es wurde zudem eine Methode für betrachterorientierte Bildanalyse evaluiert, die einen Vergleich mit DQE-Ergebnissen anhand derselben Bilddaten erlaubt.

5.3 KLINISCHE EVALUATION DER DOSISSPARENDE VERFAHREN IM VERGLEICH ZU HERKÖMMLICHEN VERFAHREN MITTELS ROC-STUDIEN

Eine statistische Abschätzung zur Studiengröße wurde dem Bundesamt für Strahlenschutz vorgestellt und wird derzeit diskutiert. Wesentliche Punkte dieser Überlegung betreffen die genaue Definition der Studienziele und die Einbeziehung zu vergleichender Aufnahmen gruppiert nach dem Screening-Befund, mit dem Ziel der Reduktion der nötigen Aufnahmezahl bei gleicher Signifikanz der ROC-Studie. Zu diesem Ziel soll auch die Bewertung von Zusatzinformationen wie der Lokalisierung von Befunden und der Risikoaversion der Befunder beitragen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Das Projekt soll gemäß den Ergebnissen der Statusgespräche fortgeführt werden.

Die Screening-Einheit wartet auf die Entscheidung zur ROC-Studie; physikalische Testmessungen der dortigen Systeme mit dem DQE-Messsystem sind vorgesehen.

Die laufenden Arbeiten an einer Bewertungssoftware für die an der ROC-Studie beteiligten Radiologen werden fortgesetzt. Das Programm muss einfach nutzbar sein und sowohl die BIRADS-Klassifikation als auch die Erfassung der Zusatzinformationen unterstützen.

Eine automatisierte statistische Auswertung für die mit der Bewertungssoftware erstellten Datensätze muss entwickelt werden, um die gesammelten Informationen über Befundlokalisierung und Risikoaversion zu verwerten. Es ist damit zu klären, ob diese Informationen Rückschlüsse auf die Leistung der rauschreduzierten Bildgebung im Vergleich zum aktuellen Standardverfahren erlauben, die mit der BIRADS-Klassifikation alleine nicht erkennbar sind, beispielsweise eine verbesserte Auflösung relevanter Strukturen im Bild oder eine unterschiedliche Gewichtung derartiger Strukturen.

Die Simulationen sind fertig, müssen aber noch ausgewertet werden, so dass Fragen hinsichtlich des dosisnormierten Kontrast-Rauschverhältnisses beantwortet werden können. Die Rauschreduktion kann jetzt direkt auf mammographische Bilder angewandt werden. Die dazu notwendigen Vorarbeiten sind abgeschlossen.

Thema

Klinische und strahlenhygienische Evaluation der neuen Schnittbildverfahren CT, MRT und PET - im Vergleich zur Koronarangiographie - hinsichtlich der Diagnostik der Frühformen sowie der klinisch manifesten Stadien der koronaren Herzkrankheit (KHK)

Subject

Clinical and radiation protective evaluation of the new imaging devices CT, MRI and PET - in comparison to coronary angiography - for the diagnostics of early as well as clinical manifest states of coronary heart disease

Kennzeichen

St.Sch. 3607S04543

Beginn

13.09.2007

Ende

30.09.2010

Fördermittel

EUR 440.300,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Ruprecht-Karls-Universität, Medizinische Fakultät Mannheim, Klinikum Mannheim gGmbH, Institut für Klinische Radiologie und Nuklearmedizin

Projektleitung

Prof. Dr. S. Schönberg

Fachbetreuung BfS

V. Minkov / AG-SG 2.1

verantwortlich für den Text

Prof. Dr. C. Fink

1. ZIELSETZUNG

Erhebung vergleichender Daten zur diagnostischen Aussagekraft, Sicherheit und möglichen verfahrensbedingten Risiken sowohl der Katheterangiographie als auch der alternativen Schnittbildverfahren und Erarbeitung eines Stufenalgorithmus bzw. Referenzstandards zur Diagnostik der KHK.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Arbeitsprogramm ist in 5 Teilprojekte untergliedert, die gleichzeitig als Meilensteine für das Gesamtprogramm fungieren:

1. Zusammenstellung der typischen bzw. möglichen Indikationen für die Anwendungen der Koronarangiographie, Mehrschicht-Computertomographie (-CT), Magnetresonanztomographie (MRT), Positronen-emissionstomographie (PET) bzw. PET-CT bei der Diagnostik der KHK (bereits abgeschlossen).
2. Erhebung von vergleichenden Daten zur diagnostischen Aussagekraft, Sicherheit und möglichen verfahrensbedingten Risiken sowohl der Katheterangiographie als auch der alternativen Schnittbildverfahren zur Diagnostik der KHK.
3. Ermittlung der in den klinischen Untersuchungen (Teilprojekt 2) applizierten Strahlendosis.
4. Nutzen-Risiko-Analyse aus klinischer und strahlenhygienischer Sicht für die untersuchten bildgebenden Verfahren bzw. diagnostischen Algorithmen.
5. Erarbeitung eines Referenzstandards bzw. Stufenalgorithmus für die Diagnostik der KHK.

3. METHODIK

Basierend auf einer Literaturrecherche erfolgt eine Zusammenstellung und Bewertung der Indikationen für die Koronarangiographie sowie der möglichen Indikationen für alternative bildgebende Verfahren wie Mehrschicht-CT, MRT, SPECT (single photon emission computer tomographie), PET bzw. PET-CT. Wenn möglich erfolgt eine Angabe der Evidenz und des Empfehlungsgrades.

Ferner werden auf Grund der Datenlage wichtige klinische Fragestellungen identifiziert, bei denen neue nicht-invasive Schnittbildverfahren in der KHK-Diagnostik eingesetzt werden können.

Ausgehend von dieser Datenlage werden zwei klinische Studien durchgeführt mit dem Ziel, die Schnittbildverfahren MRT, CT, SPECT und PET hinsichtlich ihrer diagnostischen Aussagekraft und Strahlendosis im Vergleich zur Koronarangiographie zu evaluieren.

Die durch die klinischen Untersuchungen applizierte Strahlendosis wird anhand dosisrelevanter Größen ermittelt. Bei der konventionellen Koronarangiographie betrifft dies die Erhebung der angefertigten Serien, der Durchleuchtungszeiten und des Dosis-Flächen-Produkts. Bei der CT werden der CT-Dosisindex (CTDIvol) und das Dosis-Längen-Produkt erhoben. Bei der SPECT und PET wird die applizierte Aktivität dokumentiert. Aus

diesen Daten können Organdosiswerte und effektive Dosiswerte für die verschiedenen Untersuchungsverfahren abgeschätzt werden. Für die CT wird hierfür das PC-Programm CT-EXPO verwendet, für die SPECT und PET die entsprechenden Risikokoeffizienten der einschlägigen ICRP-Publikationen (International Commission on Radiological Protection). Diese dosimetrischen Daten werden neben patientenspezifischen Daten (Alter, Geschlecht, usw.) sowie eventuell aufgetretene Zwischenfälle (z. B. Kontrastmittelallergie, Blutung, etc.) in einer Datenbank für die Auswertung zusammengetragen.

Für die Bewertung der untersuchten Schnittbildverfahren im Vergleich zum „Gold-Standard“ der Koronarangiographie ist neben der Sensitivität und Spezifität auch das Strahlenrisiko für die Patienten zu berücksichtigen. Eine grobe Abschätzung der Strahlenexposition liefert die ermittelte effektive Dosis. Für eine valide Risikobewertung reicht dies jedoch nicht aus, da die effektive Dosis weder das Geschlecht noch das Alter der untersuchten Patienten zum Zeitpunkt der Strahlenexposition berücksichtigt. Da die Brust bei der Frau ein strahlensensibles Organ darstellt, ist der Geschlechtsunterschied gerade bei CT-Untersuchungen des Herzens zu berücksichtigen.

Daher wird ausgehend von den für die evaluierten Untersuchungsverfahren / Kombinationen ermittelten Organdosiswerten unter Verwendung der im aktuellen BEIR-Report (Biological Effects of Ionising Radiation) zusammengestellten alters-, organ- und geschlechtsspezifischen Risikokoeffizienten das zusätzliche Risiko für die Entstehung eines strahleninduzierten Tumors im weiteren Verlauf des Lebens abgeschätzt. Dieses Risiko wird getrennt für Männer und Frauen für drei repräsentative Lebensalter zum Zeitpunkt der Strahlenexposition (45, 55 und 65 Jahre) ermittelt. Hierfür kann auf Werte zurückgegriffen werden, die bereits für die Risikoabschätzung von Screeninguntersuchungen mit radiologischen Verfahren errechnet worden sind.

Basierend auf den Ergebnissen der Nutzen-Risiko-Analyse wird unter Berücksichtigung der klinischen Machbarkeit ein Referenzstandard bzw. Stufenalgorithmus für die Diagnostik der KHK formuliert. Hierbei werden die Genauigkeit der Methoden (Sensitivität und Spezifität), die Strahlenexposition sowie das Risiko für die Entwicklung eines strahleninduzierten Tumors und der Grad der Invasivität der Methoden berücksichtigt. Der Referenzstandard bzw. Stufenalgorithmus wird im Konsens aller an dem Forschungsprojekt beteiligten Disziplinen (Radiologie, Kardiologie und Nuklearmedizin) formuliert.

4. DURCHFÜHRUNG

Für die Bearbeitung des Teilprojektes 1 wurden basierend auf der aktuellen Literatur zum Thema sowie der aktuellen Leitlinien aller relevanten nationalen und internationalen Fachgesellschaften für Kardiologie (Deutsche Gesellschaft für Kardiologie (DGK), European Society of Cardiology (ESC), American Heart Association (AHA), American College of Cardiology (ACC)) die wichtigsten Indikationen für die Anwendung der Koronarangiographie, Mehrschicht-CT, MRT, PET bzw. PET-CT bei der Diagnostik der KHK beschrieben.

Die vorbereitenden Maßnahmen für die Teilprojekte 2 und 3 wurden im Jahr 2008 abgeschlossen. Für die Durchführung des Teilprojektes 2 wurde ein Ethikantrag gestellt und befürwortet. Weiterhin wurde den erforderlichen Anträgen auf Genehmigung zur Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung am Menschen in der medizinischen Forschung (§ 23 StrlSchV, § 28a RöV) zugestimmt. Mit der Patientenrekrutierung für das Teilprojekt 2 wurde begonnen. Auf Grund technischer Probleme sowie eines Studienprotokolls mit drei verschiedenen Bildgebenden Verfahren bei jedem Patienten blieb die tatsächliche Patientenrekrutierung zunächst hinter der geplanten Patientenrekrutierung zurück. Das Studienprotokoll wurde im November 2009 nach entsprechenden Änderungen durch die Ethik-Kommission und das BfS optimiert, ohne die Power der Studie zu verringern. Die Patienten erhalten im neuen Protokoll mindestens zwei verschiedene Bildgebende Verfahren, die Patientenzahl wurde entsprechend nach oben angepasst.

5. ERGEBNISSE

Die Empfehlungen zur Anwendung der Koronarangiographie, Mehrschicht-CT, MRT, PET bzw. PET-CT in der Diagnostik der KHK wurden in einem ausführlichen Bericht dem BfS vorgelegt. Sofern verfügbar, wurden der Empfehlungsgrad und die wissenschaftliche Evidenz gekennzeichnet.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Patientenrekrutierung für das Teilprojekt 2 läuft aktuell. Parallel werden die Dosisdaten für das Teilprojekt 3 erhoben, die in einer Datenbank gesammelt werden. Anschließend ist die Durchführung der Teilprojekte 4 und 5, die Erstellung des Abschlussberichtes sowie der Publikation der Ergebnisse in Fachzeitschriften vorgesehen.

Thema

Erstellung von nationalen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie

Subject

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

Kennzeichen

St.Sch. 3608S04575

Beginn

01.04.2008

Ende

31.03.2011

Fördermittel

EUR 199.050,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Deutsche Röntgengesellschaft (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 „Geschäfts-

gang“, ist der NAR (Normenausschuss Radiologie) zur Einhaltung eines festgelegten Arbeitsablaufes für Normungsprojekte verpflichtet.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Normungsprojekte wurden nach den Grundsätzen der Normungsarbeit, die in den unter 4 „Methodik“ genannten Dokumenten niedergelegt sind, durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

5.1 DIN 6862-2

- Zum Druck als Norm-Entwurf verabschiedet

5.2 DIN 6878-1

- Norm-Entwurf veröffentlicht,
- Nach Einarbeitung der Entscheidungen zur Einspruchsverhandlung wird ein zweiter Norm-Entwurf veröffentlicht

5.3 IEC 62494-1

- Internationale Norm veröffentlicht mit Ausgabedatum 2008-08,
- Nationaler Norm-Entwurf veröffentlicht,
- Norm ist im Druck

5.4 IEC 62220-1-3

- Internationale Norm veröffentlicht mit Ausgabedatum 2008-06,
- Nationaler Norm-Entwurf veröffentlicht,
- Feinübersetzung der internationalen Norm in Bearbeitung

5.5 DIN 6855-1:2009-07

- Abgeschlossen

5.6 DIN 6855-11:2009-05

- Abgeschlossen

5.7 PORTAL IMAGING (NAR)

- Zum Druck als Norm-Entwurf DIN 6847-5 verabschiedet

5.8 DIN 6868-60

- Als Norm-Entwurf unter der Nummer DIN 6868-160 veröffentlicht

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 DIN 6868-152

- In Bearbeitung

5.13 IEC 60601-2-1

- Internationale Norm mit Ausgabedatum 2009-10 veröffentlicht,
- Nationaler Norm-Entwurf veröffentlicht,
- Übersetzung in Arbeit

5.14 IEC 60601-2-17

- international als CDV (committee draft for vote) verabschiedet,
- Nationaler Norm-Entwurf veröffentlicht

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 DIN 6809-3

- Zum Druck als Norm-Entwurf frei gegeben

5.20 TLD DETECTORS (ISO)

- Projekt bei ISO unter der Nummer ISO/WD 28057 in Arbeit

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

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

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

Kennzeichen

St.Sch. 3608S20001

Beginn

01.10.2009

Ende

30.09.2011

Fördermittel

EUR 259.907,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH - Institut für Röntgendiagnostik und Nuklearmedizin, 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 (RöV) 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 (Deutsches Institut für Normung) 6868-4 (incl. des Prüfkörpers für die digitale Subtraktionsangiographie), DIN 6868-13 sowie DIN EN 60601-2-44 spezifiziert sind. Zudem soll die Übereinstimmung der Prüfkörper CDMAM 3.4 sowie Testeinsatz AP gemäß der „Erläuterungen zur Anwendung von PAS (public available specification) 1054“ für Mammographiegeräte mit den zu Grunde liegenden Spezifikationen überprüft werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben gliedert sich in zwei Hauptteile. Im ersten Hauptteil werden die messtechnischen Vorarbeiten zur Beantwortung der Fragen des Vorhabens geleistet, im zweiten Teil sind die Fragen konkret zu beantworten:

- Identifikation und Entwicklung von geeigneten Verfahren zur zerstörungsfreien Überprüfung der Spezifikationen von Prüfkörpern;
- Systematische Untersuchung der auf dem Markt angebotenen Prüfkörper.

3. METHODIK

3.1 IDENTIFIKATION GEEIGNETER EXPERIMENTELLER TECHNIKEN UND ANALYSEVERFAHREN ZUR ÜBERPRÜFUNG DER SPEZIFIKATION VON PRÜFKÖRPERN

Die Zielstellung wird in einem jeweils vierschrittigen Verfahren erarbeitet:

1. Definition und Beschaffung geeigneter Master-Prüfkörper;
2. Messung der Geometrie der Master-Prüfkörper;
3. Röntgen-Darstellung der Master-Prüfkörper;
4. Zusammenführung der geometrischen (Dicken) und bildliche (Grauwerte) Resultate und Erstellung einer Korrelationsmatrix, die es ermöglicht die Geometrie von Komponenten der Prüfkörper in unbekannten Prüfstücken zu ermitteln.

3.2 SYSTEMATISCHE UNTERSUCHUNG DER AUF DEM MARKT ANGEBOTENEN PRÜFKÖRPER

Eine statistisch ausreichende Anzahl von Exemplaren der innerhalb des Vorhabens untersuchten Prüfkörper wird durch eine repräsentative Stichprobe überprüft.

4. DURCHFÜHRUNG

Es wurden bislang folgende Aufgaben zur Identifikation und Entwicklung von geeigneten Verfahren zur zerstörungsfreien Überprüfung der Spezifikationen von Prüfkörpern erledigt:

4.1 CDMAM-PRÜFKÖRPER SOWIE TESTEINSATZ AP NACH PAS 1054

Es wurde ein CDMAM-Master-Prüfkörper spezifiziert und beschafft. Der Master-Prüfkörper unterscheidet sich von Standard-Prüfkörpern darin, dass keine Rasterlinien und sonstigen Beschriftungen aufgebracht sind. Zudem ist die Schutzhaube des Prüfkörpers entfernbar.

Es wurden Standard-Platten aus Polymethylmetacrylat (PMMA) in einer großen Anzahl unterschiedlicher Dicken als Master-Schwächungsprüfkörper beschafft.

Es wurden insgesamt 37 Goldplättchen definiert, die in der Dicke sowie den Abbildungseigenschaften untersucht werden. Es wurden die Größen-Dicken-Kombinationen von Goldplättchen untersucht, die bereits in 2008 von Dr. M. Krumrey im Rahmen des Vorhabens 3608S04575 an anderen Exemplaren des CDMAM-Prüfkörpers untersucht wurden. Die jetzigen Messungen sind jedoch umfangreicher als die vorherigen sowie mit einer geringeren Messunsicherheit behaftet.

Die 37 festgelegten Goldplättchen des CDMAM-Master-Prüfkörpers wurden, bei entfernter Schutzhaube, mittels Röntgenfluoreszenz am Elektronenspeicherring BESSY II mit monochromatisierter Röntgenstrahlung (20 keV) untersucht.

Als Vorbereitung auf vorgesehene rasterkraftmikroskopische (AFM) Messungen des Master-Prüfkörpers wurde eine Aluminium-Muster-Substratplatte des CDMAM beschafft. Auf den Substratplatten sind im CDMAM die Goldplättchen aufgebracht. An der Muster-Substratplatte wurden Tests zur Zertrennung der Platte für nachfolgende AFM-Messungen sowie AFM-Testmessungen durchgeführt.

Arbeiten zur Charakterisierung der Röntgenanlage zur bildgebnerischen Darstellung der Prüfkörper wurden begonnen. Zudem wurden Rechnungen zum Absorptionsverhalten des Prüfkörpers zur Optimierung der Aufnahmeparameter durchgeführt.

4.2 PRÜFKÖRPER NACH DIN 6868-4 SOWIE DIN 6868-13

Ausgehend von Standard-Prüfkörpern der entsprechenden Normen wurden Master-Prüfkörper definiert, bei denen die Komponenten z. B. einen erweiterten Dynamikumfang besitzen. Die Master-Prüfkörper wurden als Einzelkomponenten beschafft.

Arbeiten zur Charakterisierung der Röntgen-Anlage zur bildgebnerischen Darstellung der Prüfkörper wurden begonnen.

4.3 CTDI (COMPUTED TOMOGRAPHY DOSE INDEX)-PRÜFKÖRPER NACH DIN EN 60601-2-44

Als Master-Prüfkörper wird ein im Projektteam vorhandener Prüfkörper nach DIN EN 60601-2-44 verwendet. Die Untersuchung der Geometrie des Prüfkörpers durch optische Verfahren wurde begonnen.

5. ERGEBNISSE

5.1 CDMAM-PRÜFKÖRPER SOWIE TESTEINSATZ AP NACH PAS 1054

Die Röntgen-Fluoreszenzmessungen verliefen erfolgreich. Die Messwerte stimmen mit denen aus vorherigen Messungen im Rahmen der Messunsicherheit überein. Der Mittelwert der durch die Fluoreszenzmessungen gemessenen Dicke der Goldplättchen stimmt im Rahmen der vom Hersteller angegebenen Produkttoleranz mit der Nominaldicke der Plättchen überein.

Die AFM-Testmessungen an der Muster-Substratplatte deuten darauf hin, dass die Oberfläche eine sehr große Rauigkeit (Größenordnung Mikrometer) hat. Dieses wird die AFM-Messungen an dem Prüfkörper deutlich einschränken.

5.2 CTDI-PRÜFKÖRPER NACH DIN EN 60601-2-44

Es konnte ein Teil der geometrischen Eigenschaften des Prüfkörpers bestimmt werden. Die bisherigen Messungen deuten darauf hin, dass die Geometrie bis auf wenige Mikrometer der Spezifikation entspricht.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Messung der Geometrie an den drei Prüfkörpergruppen soll weitergeführt und bis Mitte 2010 abgeschlossen werden.

Die Charakterisierung der Röntgeneinrichtungen soll weitergeführt und bis Mitte 2010 abgeschlossen werden.

Es ist auf Basis der aktuellen geometrischen Messungen zu bedenken, ob bei dem CTDI-Prüfkörper nach DIN EN 60601-2-44 bildliche Methoden für die Prüfung der Prüfkörper nach Abschnitt 2.2 entwickelt werden sollen, oder ob die geometrischen Messungen gemäß Abschnitt 5.2 ausreichend und effizient genug sind.

Von Mitte 2010 an sollen die auf dem Markt angebotenen Prüfkörper systematisch untersucht werden.

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 a measurand</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3609S40003	Beginn 01.12.2009	Ende 30.04.2010	Fördermittel EUR 30.085,-
Forschungs- / Auftragnehmer PD Dr. Dirk Schulze, 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 ist einerseits die Erhebung von Häufigkeitskennziffern von dentalen DVT (Digitaler Volumentomograph)-Systemen für Deutschland. Des Weiteren soll 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 gerätespezifischen Konversions-Koeffizienten.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ERMITTLUNG DER RELATIVEN HÄUFIGKEIT

Die Ermittlung von Häufigkeitskennziffern dentaler DVT-Systeme und -Anwendungen ist 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, welche für diagnostische Untersuchungen mit ionisierenden Strahlen vorgenommen wird. Das DFP wird dabei als Messgröße in Relation zur effektiven Dosis gesetzt und soll dann gegebenenfalls die Berechnung der effektiven Dosis ermöglichen.

3. METHODIK

3.1 ERMITTLUNG DER RELATIVEN HÄUFIGKEIT

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

3.2 ERMITTLUNG DER EFFEKTIVEN DOSEN IN RELATION ZU DOSISFLÄCHENPRODUKTEN

Die Ermittlung der effektiven Dosen erfolgt durch Expositionen eines mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) bestückten Rando-Phantoms bzw. anthropomorphen Kopfphantoms. Die TLD werden durch die Firma PTW in Freiburg ausgelesen. Selbige Firma liefert auch das Messinstrument für die parallel stattfindende Messung des DFP.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERMITTLUNG DER RELATIVEN HÄUFIGKEIT

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

4.2 ERMITTLUNG DER EFFEKTIVEN DOSEN IN RELATION ZU DOSISFLÄCHENPRODUKTEN

Die Dosimetrie wird in Freiburg (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

Erste Ergebnisse liegen bereits vor.

5.1 ERMITTLUNG DER RELATIVEN HÄUFIGKEIT

Im Bundesland Baden-Württemberg waren im 94 dentale DVT-Systeme gemeldet. Im Durchschnitt werden von den Betreibern ca. 250 Untersuchungen im Jahr angefertigt. Es darf aber von einer höheren Zahl tatsächlich durchgeführter Untersuchungen ausgegangen werden, da die Betreiber mit zunehmender Expertise eine höhere Zahl von Untersuchungen akquirieren.

5.2 ERMITTLUNG DER EFFEKTIVEN DOSEN IN RELATION ZU DOSISFLÄCHENPRODUKTEN

Erste Dosismessungen ergaben eine große Bandbreite der ermittelten effektiven Dosis; diese lag zwischen 8 und 108 μSv . Hierbei muss allerdings berücksichtigt werden, dass unterschiedliche Aufnahmevolumina und Expositionsparameter vorlagen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Ermittlung der Häufigkeitskennziffern wird fortgesetzt. Die weitere Ermittlung der effektiven Dosen wie auch der DFP-Werte erfolgt unter der Berücksichtigung der minimal und maximal möglichen adjustierbaren Expositionsparameter.

Themenbereich 05
Radioökologie

Subject area 05
Radioecology

Thema Bundesweiter Überblick über die Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen			
Subject <i>Nationwide survey of the radiocaesium contamination of wild boars</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3607S04561	Beginn 01.01.2008	Ende 30.06.2011	Fördermittel EUR 336.023,-
Forschungs- / Auftragnehmer Dr. Fielitz Umweltanalysen, Duderstadt			
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 (AP 1) 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 (AP 2) mit Hilfe eines radioökologischen Modells eine Landkarte Deutschlands mit der zu erwartenden Kontamination von Wildschweinen erstellt werden. Im dritten Arbeitspaket (AP 3) soll diese Karte durch stichprobenartige Messungen des Muskelfleisches in ausgesuchten, bisher nicht systematisch beprobten Gebieten validiert werden.

3. METHODIK

Die in AP 1 erhobenen Daten werden in ein geografisches Informationssystem (GIS) überführt, wodurch die ortsbezogene Analyse und kartografische Darstellung der Daten möglich ist. In AP 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.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AP 1: LITERATURRECHERCHE

Die in 2008 begonnene Recherche der Fachliteratur und sonstiger einschlägiger Quellen wurde fortgesetzt. Ein Arbeitsschwerpunkt lag auf der Aufbereitung der eingegangenen Daten zur Hirschtrüffelverbreitung und deren Integration in das GIS. Das ergänzte ArcView-Projekt wurde mit dem kompletten Sachdatenbestand dem BfS übergeben.

Im Zwischenbericht zu AP 1 wurde das geplante methodische Vorgehen beschrieben, wie ausgehend von den dominierenden Einflussfaktoren die Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen prognostiziert werden soll. Des Weiteren wurden Möglichkeiten vorgeschlagen, wie das radioökologische Modell im GIS implementiert werden kann.

4.2 AP 2: PROGNOSE DER RADIOCÄSIUMKONTAMINATION VON WILDSCHWEINEN

Die Basisversion des radioökologischen Modells zur Prognose der Wildschweinkontamination wurde entwickelt und die Programmdateien in das GIS eingebettet. Das Futterspektrum wird generisch und stark vereinfachend durch die drei Kategorien Hirschtrüffel, Grünpflanzen und Boden modelliert. Wegen der unterschiedlichen Kontamination des Futters wird zudem zwischen Wäldern und landwirtschaftlichen Flächen unterschieden. Um Verhältnisse, die zu außergewöhnlichen Radiocäsiumkontaminationen bei Wildschweinen führen können, zu berücksichtigen, wurden auch Worst-Case-Szenarien und Szenarien für Mastjahre betrachtet.

4.3 AP 3: VALIDIERUNG DER KONTAMINATIONSKARTE

Zur Validierung der Kontaminationskarte wurden fünf Untersuchungsgebiete ausgewählt, in denen die Radiocäsiumkontamination des Muskelfleisches von Wildschweinen während zweier Kalenderjahre ermittelt werden soll. Die Auswahl erfolgte nach der bundesweiten Recherche relevanter Standortfaktoren. Kriterien waren die Radiocäsiumkontamination des Bodens und das Vorhandensein möglichst vieler kontaminationsbestimmender Einflussfaktoren.

5. ERGEBNISSE

5.1 AP 1: LITERATURRECHERCHE

Im ersten Arbeitspaket wurde ein ArcView-Projekt aufgebaut, das neben den Messdaten für Wildschweine die wesentlichen kontaminationsbestimmenden Einflussfaktoren enthält. Die Daten sind georeferenziert und damit räumlich analysiefähig. Im Projekt sind die folgenden Fachthemen enthalten:

- Cs-137-Messdaten Bodenkontamination,
- Cs-137-Messdaten Wildschweine,
- Cs-137-Messdaten Pilze,
- Fundorte Hirschtrüffel, sowie
- Boden mit den Einzelthemen landwirtschaftliche Flächen, Waldbedeckung, Baumarten und Bodentypen.

Das ArcView-Projekt wurde dem BfS übergeben.

5.2 AP 2: PROGNOSE DER RADIOCÄSIUMKONTAMINATION VON WILDSCHWEINEN

Zur Prognose der Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen wurde ein radioökologisches Modell entwickelt und in das bestehende ArcView GIS integriert (Projektname EcoWild.apr). Grundlage ist ein empirisches Mehrschichten-Bodenmodell, in dem die Migration, Fixierung und Desorption von Cs-137 berücksichtigt wird. Der Transfer Boden - Futterkomponenten wird durch Transferfaktoren quantifiziert. Das Wildschwein wird vereinfachend als Einkompartiment-Modell mit einer biologischen Halbwertszeit beschrieben. Aktuell liefert das Modell Prognosewerte für die Flächen, auf denen Hirschtrüffel gefunden wurden. Die örtliche Auflösung (Flächenelemente 3 km x 3 km) orientiert sich am durchschnittlichen Aktionsraum von Wildschweinen.

In EcoWild.apr wurden drei Werkzeug-Schaltflächen geschaffen, mit denen die räumliche Verteilung und der Zeitverlauf der Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen berechnet und dargestellt werden kann. Die Ortsauswahl erfolgt über ein Dropdown-Menü, mit dem der Benutzer ganz Deutschland, einzelne Bundesländer sowie eine oder mehrere Gemeinden auswählen kann.

Das Modell wurde so konzipiert, dass zusätzlich zur mittleren Wildschweinkontamination auch Worst-Case-Szenarien berechnet werden können. Dabei kann zwischen zwei vorgegebenen Worst-Case-Szenarien sowie einem benutzerdefinierten Szenario gewählt werden. Folgende Parameter werden bei den Szenarien verändert: Futteraufnahme pro Tag (in kg/d) und Anteil der Hirschtrüffel an der Futteraufnahme (in %).

In Jahren, in denen Bucheckern und Eicheln besonders häufig sind, so genannte Mastjahre, fressen Wildschweine bevorzugt dieses niedrig kontaminierte Futter. Da dies regelmäßig zu einem deutlichen Abfall der Cs-137-Kontamination der Wildschweine führt, wurden im Prognosemodell auch Mastjahre berücksichtigt. Dabei wird unterstellt, dass Wildschweine während der Mastzeit nur Bucheckern/Eicheln und Boden, sonst aber keine weiteren Futterkomponenten aufnehmen. Der Benutzer kann den Zeitraum der Mast bis zu maximal 6 Monate frei wählen.

5.3 AP 3: VALIDIERUNG DER KONTAMINATIONSKARTE

Die administrativen und praktischen Fragen bezüglich der Probenentnahme in den fünf Untersuchungsgebieten wurden mit den zuständigen Stellen geklärt. Die Proben werden vor Ort tief gefroren und per Eilpaket zur Radiocäsiummessung versendet.

Die Recherche in AP 1 ergab unter anderem die Frage, ob die beiden für Wildschweine relevanten Hirschtrüffelarten *Elaphomyces granulatus* (Feinwarzige Hirschtrüffel) und *Elaphomyces muricatus* (Bunte Hirschtrüffel) signifikant unterschiedlich kontaminiert sind. Um dies zu klären, wurden beide Arten im Freiland gesucht und beprobt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die weiteren Arbeiten konzentrieren sich auf die Modellierung der Cs-137-Kontamination von Wildschweinen (AP 2) und die Validierung der Kontaminationskarte (AP 3). Schwerpunkt der geplanten Arbeiten ist die Modellierung des Hirschtrüffelvorkommens und die Frage, ob in den Modellrechnungen zwischen *Elaphomyces granulatus* und *Elaphomyces muricatus* unterschieden werden muss. Die Beprobung und Cs-137-Messung der beiden Hirschtrüffelarten wird fortgesetzt.

Thema			
Untersuchungen zur Auslaugbarkeit langlebiger Radionuklide aus Bauschutt			
Subject			
<i>Investigation of the leachability of long-lived radionuclides from demolition rubble</i>			
Kennzeichen St.Sch. 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 Dr. H.-J. Herbert	

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 den meteorologischen Bedingungen (Regenmenge und -häufigkeit) in Norddeutschland ermittelt und mit Ergebnissen von Modellrechnungen verglichen werden. Zusätzlich sollten k_d -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 k_d -Werten der genannten Radionuklide an Baustoffen und Böden führen.
- Mittels experimenteller Arbeiten sollten a) k_d -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 Perkulationsversuchen 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

Zur Ermittlung hydraulischer Parameter von Baustoffbruchstücken, sowie zur Bestimmung von k_d -Werten ausgewählter Radionuklide bei Sorption an dieses Material wurden experimentelle und theoretische Methoden herangezogen.

3.1 EXPERIMENTELLE ARBEITEN

Bei den experimentellen Arbeiten kamen Perkulations- und Schüttelversuche zur Anwendung, ferner bodenphysikalische Standardmethoden zur experimentellen Ermittlung hydraulischer Parameter.

3.2 MODELLIERUNG

Seitens der Modellierung kam u. a. die bodenhydrologische Simulationssoftware Hydrus-1D zum Einsatz. Hydrus-1D ist international etabliert und validiert und zur Simulation-, sowie zur Inverssimulation beim Radionuklidtransport geeignet. Das Programm wird inzwischen in verschiedenen Versionen auch durch das BfS erfolgreich eingesetzt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 EXPERIMENTELLE ARBEITEN

Es wurden drei Arten von zementhaltigen Baustoffen, Schwerbeton, Normalbeton und Mörtel, 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 Baumaterialien wurden nach dem Aushärten zerkleinert. Die Proben 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 Radionuklidkonzentrationen in der Kontaminationslösung wurden so gewählt, dass Freigrenzen der StrlSchV erreicht aber nicht überschritten wurden. Mit oberflächlich und homogen kontaminierten Proben der drei Materialien wurden mit den Korngrößen <20 und <45 mm Perkulationsversuche an mittelgroßen Laborlysometern mit 200 Liter Fassungsvermögen durchgeführt. Die Korngrößen für die Perkulationsversuche wurden so gewählt, dass sie denen auf einer Deponie möglichst nahe kamen, andererseits aber nicht größer waren als diejenigen, die eine belastbare Modellierung der ungesättigten hydraulischen Prozesse noch ermöglichen. Die Berechnung des Bauschutts in den Fässern erfolgte mit künstlichem Regenwasser. Die Bewässerung wurde so durchgeführt, dass sie das Niederschlagsregime in Norddeutschland simulierte. Die Konzentration der Radionuklide in den Perkolatfraktionen wurde gemessen. Unabhängig davon wurden mit den drei Baustoffen Schüttelversuche durchgeführt und k_d -Werte unter Gleichgewichts-Bedingungen ermittelt. Die experimentell bestimmten k_d -Werte aus Schüttel- und Perkulationsversuchen wurden mit den Literaturdaten verglichen. Weitere Experimente wurden durchgeführt, um das Auslagverhalten von matrixkontaminiertem Schwerbeton unter Gleichgewichtsbedingungen zu ermitteln. Hierzu wurden Batchversuche durchgeführt, bei denen das Feststoff-Lösungsverhältnis variiert wurde und die in die Lösung freigesetzten Hauptelemente und Radionuklide gemessen wurden.

4.2 MODELLIERUNG

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden unterschiedliche Modellierungen des variabel gesättigten Wasserflusses und Stofftransports sowie der Stofffreisetzung durchgeführt. Die Arbeiten umfassten

- Modellierungen zur Auslegung der Perkulationsversuche,
- 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 Verteilungs-Koeffizienten für die Perkulationsversuche,
- geochemische Gleichgewichtsmodellierung der Baustoffauslaugung.

Die Modellrechnungen zu den ersten vier Punkten 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.

5. ERGEBNISSE

5.1 LITERATURSTUDIE

Eine ausführliche Literaturstudie über die baustoff- und bodenspezifischen Sorptionsparameter für die Radionuklide Uran, Thorium, Jod und Radium wurde fertiggestellt. Im Bericht werden neben den k_d -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.

5.2 ERGEBNISSE DER EXPERIMENTELLEN ARBEITEN

Alle vorgesehenen experimentellen Arbeiten wurden durchgeführt und abgeschlossen. Sämtliche Ergebnisse liegen vor und werden in Kürze in einem zusammenfassenden Abschlussbericht als GRS-A-3524 vorgelegt.

Die Auswertung ist ebenfalls abgeschlossen. Sie bestätigt, dass die gewählte Vorgehensweise richtig war und die erwarteten Ergebnisse gewonnen werden konnten.

5.3 MODELLIERUNG

Das hydraulische Verhalten der Versuchssysteme konnte mit sehr guter Übereinstimmung zu den Messdaten modelltechnisch abgebildet werden. Die Tracerdurchbrüche zeigten einen Stofftransport entlang präferenzierter Fließwege an und wurden mit einem Zwei-Regionen-Modell für den Stofftransport erfolgreich modelliert. Die hieraus gewonnenen Größen „mobiler Wassergehalt“, „Abstandsgeschwindigkeit“ und Dispersionslänge wurden in den inversen Simulationen zur Bestimmung effektiver k_d -Werte der Radionuklide genutzt. Die simulierten Perkolatkonzentrationen stimmten grundsätzlich gut mit den Messungen überein, die zeitliche Dynamik der Konzentrationen konnte leider nicht in allen Fällen zufriedenstellend beschrieben werden. Hieraus ergibt sich weiterer Forschungsbedarf. Mit der geochemischen Software PHREEQC wurden die Versuche zur Radionuklidmobilisierung unter Gleichgewichtsbedingungen bei unterschiedlichen Feststoff/Lösungsverhältnissen simuliert und mit den experimentell ermittelten Daten verglichen. Ziel dieser Arbeiten war, zu überprüfen, wie gut das Auslaugverhalten von Haupt- und Radionukliden mittels geochemischer Modellierung beschreibbar und damit prognostizierbar ist. Die in der Modellierung verwendete thermodynamische Datenbasis, einschließlich der betrachteten Bodenkörper (CSH-Phasen) sind in der Lage die komplexen chemischen Abläufe zufriedenstellend zu beschreiben. Es ist zu erwarten, dass die erzielte Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Batchversuche und der Modellierung durch weiterführende Arbeiten an der thermodynamischen Datenbasis noch verbessert werden kann. Die vorliegenden Ergebnisse sprechen dafür, dass die chemischen Prozesse bei der Auflösung von Bauschutt relativ gut verstanden sind.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Der Abschlussbericht wird fertiggestellt und dem BfS 2010 vorgelegt. Mit der Abnahme dieses Berichtes ist das Vorhaben offiziell beendet. Aus mehreren Gründen bietet sich jedoch eine Fortführung an. Ein Vorschlag mit Ziel und Inhalten eines Fortsetzungsprogramms wurde dem BfS unterbreitet.

Thema

Erweiterung und Validierung von ARTM für den Einsatz als Ausbreitungsmodell in AVV und SBG

Subject

Improvement and Validation of ARTM for the Application as an Atmospheric Dispersion Model in AVV and SBG

Kennzeichen

St.Sch. 3608S05005

Beginn

01.09.2008

Ende

31.10.2011

Fördermittel

EUR 574.994,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln

Projektleitung

Dr. R. Martens

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 (AVV) zu § 47 StrlSchV und der Störfallberechnungsgrundlagen (SBG) zu § 49 StrlSchV 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 (St.Sch. 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-Transport-Modell (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) nahe legen und 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 wird systematisch aufbereitet und 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. Verein deutscher Ingenieure (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 Ergebnissfelder 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 Programmerweiterungen auf Grund von offenen Fragestellungen, Kommentaren 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 AUFARBEITUNG DES FÜR DAS VORHABEN RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Im Rahmen der Aufarbeitung des für das Vorhaben relevanten Standes von Wissenschaft und Technik hat der Auftragnehmer an dem „30th ITM-NATO/SPS International Technical Meeting on Air Pollution and its Application“, vom 18. bis 22. Mai 2009 in San Francisco, California, USA, teilgenommen. Die Konferenz ist eine der wichtigsten regelmäßig stattfindenden internationalen Veranstaltungen zum Themenkomplex „Theorie und Anwendung atmosphärischer Ausbreitungsmodelle / Entwicklung und Verbesserung von Modellen und Methoden zur Wettervorhersage und zu Prognosen der Luftqualität“. Diese Veranstaltung bietet gute Gelegenheit für einen fachlichen Informationsaustausch zwischen Wissenschaftlern, die in den Bereichen Industrie, Forschungs- und Regierungsinstitutionen arbeiten und sich mit Problemen der Überwachung, Simulation oder Regelung von Fragen der Luftreinhaltung befassen. In einigen Konferenzbeiträgen wurde über den Einsatz von und die Erfahrungen mit Partikelmodellen zur Simulation der bei vielen Störfallbetrachtungen relevanten Kurzzeitausbreitung berichtet, sowie über Ansätze zur Parametrisierung stark konvektiver Turbulenzsituationen. Außerdem waren verschiedene Feldexperimente in städtisch strukturiertem Gelände, die in den USA durchgeführt wurden, Gegenstand von Konferenzbeiträgen.

Bezüglich der Erfassung des Strömungsfeldes durch Kühltürme unter Berücksichtigung des Betriebszustandes wird ein Konzept verfolgt, bei dem das durch den Kühlturm erzeugte Wind- und Turbulenzfeld extern vor-

berechnet wird und an ARTM übergeben wird. Es werden zurzeit folgende prognostische Strömungsmodelle hinsichtlich ihrer Eignung in Bezug auf Strömungsmodellierung mit und ohne Kühlturbetrieb überprüft:

- das mikroskalige Strömungsmodell MISKAM,
- das mikroskalige Strömungsmodell FDS (Fire Dynamics Simulator) und
- das mesoskalige Strömungsmodell FOOT3DK (Flow Over Orographically Structured Terrain).

Dazu wurden die Vor- und Nachteile dieser externen Strömungsmodelle gegenübergestellt und abgewogen. Grundlage der Abwägung war eine vertiefte Literaturschau zu den wesentlichen Einflüssen von Gebäudeumströmung und Kühlturbetrieb auf das Wind- und Turbulenzfeld sowie zu den entsprechenden Eigenschaften und Validierungsergebnissen der betrachteten Modelle. Trotz der ausführlichen Validierung des kommerziellen Modells MISKAM im Bereich der Mikroskala fällt es wegen der fehlenden Berücksichtigung von thermischem Auftrieb für das Projekt aus. Das frei verfügbare Modell FOOT3DK würde eine grundsätzlich mögliche Modifikation für die Berücksichtigung von Gebäuden benötigen und beim frei verfügbaren Modell FDS müssten Anpassungen der Randbedingungen und der Ausgabe von Turbulenzfeldern erfolgen. Da zurzeit noch nicht absehbar ist, welcher der beiden Lösungswege sich besser umsetzen lässt, sollen zunächst beide soweit verfolgt werden, bis eine klare Entscheidung möglich ist.

Weitere Arbeiten betrafen die Überarbeitung der in ARTM verwendeten Turbulenzparametrisierung im Hinblick auf einen realitätsnäheren Ansatz: Die Anwendung der 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 bodennahen Konzentration sowie der trocken und nass abgelagerten Stoffe geführt. - Im Rahmen einer VDI-AG, die eine Anpassung der aus dem Jahr 2002 stammenden VDI-Richtlinie vornehmen soll, fanden am 04.03.2009 und am 01./02.12.2009 weitere Arbeitssitzungen statt. Diese Anpassung wird auf der Basis verschiedener meteorologischer Messkampagnen (NDR-Sendemast Hamburg, SODAR-RASS-Daten vom Standort Kittsee (Österreich) und Meteo-Daten vom Meteorologischen Observatorium Lindenberg (MOL)) vorgenommen. Erste Auswertungsergebnisse der Hamburger und Kittsee-Daten wurden in der VDI-AG diskutiert. Parallel zu dieser Auswertung zusammengestellte alternative Ansätze zur Turbulenzparametrisierung sollen an Hand der obigen Meteo-Datensätze angepasst und validiert werden. - Die in der VDI-AG zusammengestellten Ansätze zur Berücksichtigung des Einflusses kurzer Freisetzungzeiten auf die Konzentrationsverteilung sollen ebenfalls auf der Basis der Meteo-Datensätze 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.

4.2 BEWERTUNG UND VALIDIERUNG VON ARTM

Auf der Grundlage einer umfangreichen Programmstrukturanalyse wurden Programm-Modifikationen vorgenommen und vorbereitet, mit denen kürzer als einen Tag dauernde Ausbreitungsepisoden 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 Emissions- und Meteo-Zeitreihen. Solche Randbedingungen können bei Störfällen, Unfällen sowie SEWD von Bedeutung sein.

Im Rahmen der Bewertung und Validierung des in ARTM integrierten diagnostischen Strömungsmodells TALdia zur Berücksichtigung des Einflusses von Gebäudestrukturen einschließlich Kühlturmbauwerken unter Berücksichtigung des jeweiligen Betriebszustandes wurden parallel zu den in Abschnitt 4.1. beschriebenen Arbeiten für eine typische Kühlturmkonfiguration (mit Wärmeemission) aufwändige Testrechnungen mit dem Modell FDS durchgeführt und mit entsprechenden TALdia-Ergebnissen verglichen. FDS-Simulationen zeigen die Ausbildung typischer Doppelrotoren bei Kühlturmfahnen, während das diagnostische Strömungsmodell TALdia solche Effekte grundsätzlich nicht simulieren kann.

Weitere markante Unterschiede zeigen sich in der Struktur der simulierten Turbulenzfelder. Während TALdia eine Erhöhung der Turbulenz nur im Bereich des Nachlaufwirbels parametrisiert, erzeugt FDS auch im Bereich der Gebäudekanten durch Scherung des Strömungsfeldes bedingte Turbulenzstrukturen, wie sie auch in Windkanalversuchen aus der CEDVAL-Bibliothek/Datenbank beobachtet wurden. Um die berechnete Turbulenz mit Messungen vergleichen zu können, wurden die aufgelösten Wirbel des Strömungsfeldes nachträglich statistisch ausgewertet und mit dem parametrisierten Turbulenzanteil verknüpft. Schwierig stellt sich mit FDS allerdings die Einstellung der Grenzschichtturbulenz dar, da zwar am Einströmrand ein Windprofil vorgegeben werden kann, nicht aber das zugehörige Turbulenzprofil. Inwieweit sich dies mit Anpassungen am Modell oder durch eine Vorlaufstrecke ähnlich einem Windkanal praktikabel beheben lässt, muss noch ausführlicher untersucht werden. Erste Tests dazu deuten auf eine deutliche Erhöhung des Rechenaufwandes

hin. Erst mit der Lösung dieses Problems ließen sich belastbare Auswertungen und Sensitivitätsstudien durchführen. Da diese Schwachstellen bei FOOT3DK nicht bestehen, soll im nächsten Schritt zunächst untersucht werden, ob sich FOOT3DK mit vertretbarem Aufwand um Gebäuderandbedingungen ergänzen lässt. Zur Untersuchung der Möglichkeiten der Verwendung flächendeckender Ergebnisfelder numerischer Wettervorhersagemodelle anstelle meteorologischer Daten nur einer Station zur meteorologischen Initialisierung von ARTM liegen die meteorologischen Daten der LITFASS-Kampagne 2003 vor, die entsprechende Ergebnisfelder des Lokal-Modells (Wettervorhersagemodell des DWD) enthalten.

5. ERGEBNISSE

5.1 TECHNISCH-WISSENSCHAFTLICHE MODELLERWEITERUNGEN

Es steht eine ARTM-Versuchsversion zur Verfügung, an der laufend Analysen zur Programmstruktur vorgenommen und Programmänderungen getestet werden.

- Es wurde die Möglichkeit geschaffen, optional gezielte Kontrollausgaben zu aktivieren, mit der Einzelheiten des Programmablaufes untersucht werden können.
- Die ARTM-Versuchsversion kann wahlweise 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 betrieben werden.
- 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.

Weiter wurden technisch-wissenschaftliche Erweiterungen an ARTM und der anwenderfreundlichen Benutzeroberfläche GO-ARTM vorgenommen / vorbereitet:

- Experimentalversion eines Nuklid-Editors, mit der 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, s. u.) zur Verwendung in Geobrowsern,
- Einbeziehung des externen vom BfS zu erstellenden Dosismoduls DARTM in GO-ARTM, das die vorberechneten ARTM-Felder für nachfolgende Dosisberechnungen verwenden soll.

5.2 INFORMATIONS- UND ERFAHRUNGSAUSTAUSCH ZWISCHEN PROGRAMMENTWICKLER UND EXTERNEN ANWENDERN EINSCHLIEßLICH TECHNISCH-WISSENSCHAFTLICHER UNTERSTÜTZUNG VON BMU UND BFS

Auf der GRS-Seite (www.grs.de) wurde ein Internet-Auftritt für ARTM vorbereitet, mit dem Informationen über ARTM abgerufen werden können sowie die aktuellen Versionen des Programmpakets ARTM und der grafischen Benutzeroberfläche GO-ARTM heruntergeladen werden können. Diese ARTM-Seite soll kurzfristig um eine FAQ-Liste für häufig gestellte Fragen und den dazugehörigen Antworten zu ARTM sowie Rückmelde-möglichkeiten von Modellanwendern (analog der Seite www.austal2000.de) ergänzt werden. Die ARTM-Internet-Seite wurde in Absprache mit dem BfS vorbereitet und soll während der Projektlaufzeit entsprechend dem Vorhabensfortschritt gepflegt und erweitert werden. Zwischenzeitlich wurde die ARTM-Internet-Seite freigeschaltet; sie ist abrufbar unter:

www.grs.de/content/ausbreitungsmodellierung

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeiten zu Bewertung und Validierung von ARTM, zu Technisch-wissenschaftliche Modellerweiterungen an ARTM unter Einbeziehung der anwenderfreundlichen Benutzeroberfläche GO-ARTM und zum Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen Programmentwickler und externen Anwendern einschließlich technisch-wissenschaftlicher Unterstützung von BMU und BfS werden wie geplant fortgeführt.

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 St.Sch. 3607S04541	Beginn 01.10.2007	Ende 31.03.2010	Fördermittel EUR 158.122,-
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

1. ZIELSETZUNG

Ziele des Forschungsvorhabens sind die Entwicklung eines Curriculums zur Aus- und Weiterbildung von Ärzten im präklinischen Strahlenunfallmanagement sowie die Optimierung und Weiterentwicklung des bisherigen Konzepts auf der Grundlage der Evaluierung des Pilotkurses.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Einzelziele des Vorhabens beziehen sich auf die Entwicklung eines Mustercurriculums und Durchführung eines zweiten Fortbildungskurses.

3. METHODIK

Die Konzeption des Curriculums stützt sich auf die Recherche einschlägiger Fachliteratur sowie auf die Mitarbeit externer Experten und Beratung im Rahmen von Fachgesprächen. Weitere Projektarbeiten beinhalten die Erstellung der Lehrmaterialien, die Erprobung des Curriculums in einem Pilotkurs, die Entwicklung eines Kenntnisnachweises und Evaluierungsfragebogens, die Erarbeitung von Empfehlungen zur Verbesserung des Curriculums basierend auf der Auswertung der Evaluierung sowie die Vorstellung und Diskussion der Evaluierungsergebnisse in einem abschließenden Fachgespräch. Die drei Aufgabenschwerpunkte des Verlängerungsprojekts sind Erstellung eines Mustercurriculums, Planung sowie Organisation und Durchführung eines überarbeiteten Grundkurses Anfang 2010.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben ist nach seiner Verlängerung in nunmehr 4 Phasen gegliedert:

- Vorbereitungs- und Konzeptphase; beendet,
- Entwicklungsphase; beendet,
- Test- und Pilotphase; beendet,
- Optimierungsphase.

4.1 VORBEREITUNGS- UND KONZEPTPHASE

Diese Phase war gekennzeichnet durch die Analyse der nationalen und internationalen Fachliteratur, der elektronischen Medien zum Themenbereich sowie nationaler und internationaler Kurskonzepte sowie Fortbildungs- und Trainingsprogramme. Basierend auf der Beschreibung unterschiedlicher Strahlenunfallszenarien wurden mögliche Unfallfolgen hinsichtlich der Schädigungsart und des Unfallschadens dargestellt, die ärztlichen Aufgaben innerhalb der präklinischen Rettungskette ermittelt und Notärzte als Zielgruppe des Curriculums identifiziert. Das präklinische Strahlenunfallmanagement für unterschiedliche Strahlenunfallszenarien wurde in Einsatzablauf-Flussdiagrammen zusammengefasst. In zwei Fachgesprächen wurde der Entwurf des Curriculums Vertretern aus Ministerien und Fachbehörden sowie Experten aus Wissenschaft und Forschung präsentiert, deren Ergebnisse in die folgenden Projektphasen eingingen.

4.2 ENTWICKLUNGSPHASE

In dieser Phase wurden die erforderlichen Lehrinhalte ermittelt, deren Umfang festgelegt und die Lernziele identifiziert. Die Entwicklung des Lehrmaterials berücksichtigte neben Präsentationen auch eine Demonstration der Selbstschutzausrüstung. Die Einzelthemen der Lernabschnitte lagen der inhaltlichen Gestaltung der Präsentationen zu Grunde, für die einheitliche Formatvorlagen entwickelt wurden.

4.3 TEST- UND PILOTPHASE

In der Test- und Pilotphase wurden die Dozenten ausgewählt, der Modellstundenplan erstellt, die Rahmenbedingungen des Pilotkurses (Art, Form, Dauer, Zeit, Termin und Ort, Größe, Kosten und Zertifizierung) festgelegt, der Pilotkurs organisiert, durchgeführt und evaluiert, die Evaluierung ausgewertet und Verbesserungsvorschläge ausgearbeitet, die in einem abschließenden Fachgespräch dargestellt wurden.

4.4 OPTIMIERUNGSPHASE

In dieser Phase wurde der Pilotkurs organisatorisch, inhaltlich und methodisch nachbereitet und basierend auf der Evaluierung und den Ergebnissen des Fachgesprächs weiterentwickelt. Die Aufgaben beinhalten die Umsetzung der Verbesserungsvorschläge hinsichtlich des Kursmaterials, die Überarbeitung der Präsentationsfolien, eine bessere Abstimmung der Kursthemen, die Ergänzung der theoretischen oder praktischen Ausbildungsinhalte und Anpassung an die Zielgruppe sowie die Erstellung eines Foliensatzes für ein Mustercurriculum. Die Durchführung eines überarbeiteten zweiten Grundkurses im Februar 2010, die Auswertung des Lernerfolgs, die Kursevaluierung und Ausarbeitung von Verbesserungsvorschlägen sind weitere Aufgaben. Schließlich soll das Konzept für einen Aufbaukurs mit Leitenden Notärzten erstellt werden.

5. ERGEBNISSE

5.1 VORBEREITUNGS-, KONZEPT- UND ENTWICKLUNGSPHASE

Die Ergebnisse der Vorbereitungs- und Konzeptphase bildeten die Grundlage für die Entwicklung des Curriculums und wurden in zwei Fachgesprächen präsentiert. Die Struktur des Curriculums wurde in Lernabschnitte bzw. zu vermittelnde Kenntnisse, Lernziele und Einzelthemen gegliedert. In den 8 Lernabschnitten sollen Kenntnisse im Bereich der Strahlenphysik, Strahlenbiologie, Strahlenunfallszenarien und Strahlenschäden, Einsatz- und Führungslehre, des Notfall- und Katastrophenschutzes, des speziellen Strahlenunfallmanagement sowie Selbstschutzes gelehrt werden. Als Lernziele des Curriculums wurden das Erkennen von Strahlenunfällen, das Vermitteln der Grundlagen des präklinischen Strahlenunfallmanagements und die Etablierung von Handlungsalgorithmen für verschiedene Unfallszenarien definiert.

5.2 TEST- UND PILOTPHASE

Der Pilotkurs fand am 27.06.2009 in der Staatlichen Feuerweherschule Würzburg statt. Mit 16 Teilnehmern wurde die angestrebte Kursgröße erreicht. Die Bayerische Landesärztekammer zertifizierte den Pilotkurs mit 8 CME-Punkten. Der eintägige Grundkurs bestand aus 8 Unterrichtseinheiten von je 45 Minuten und umfasste Präsentationen, eine Demonstration sowie einen schriftlichen Test mit 20 Multiple Choice Fragen. Ein Evaluierungsfragebogen erfasste die Bewertung des Pilotkurses durch die Teilnehmer. Im Kenntnissnachweis 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 wurden die Fragen von 12,5 der 16 Teilnehmer (78%) richtig beantwortet, wobei die Zahl der Teilnehmer mit richtigen Antworten zwischen 8,6 (54%) und 14,7 (92%) schwankte, je nach Thema bzw. Dozent.

Der Pilotkurs und das Curriculum wurden in der Evaluierung durch die Teilnehmer mittels eines Fragebogens bestätigt; es wurden nur relativ wenige Veränderungen gewünscht. Bezüglich der organisatorischen Aspekte ergab sich eine breite Zustimmung hinsichtlich des Kurstermins, des Veranstaltungsortes und der Kursdauer von einem Tag. Die Struktur und das Tempo des Kurses wurden überwiegend positiv bewertet. Die relative Unzufriedenheit mit der ungenügenden Zeit für Diskussionen und Fragen resultiert vornehmlich aus der Tatsache, dass im Pilotkurs eine große Bandbreite von Themen in einem engen zeitlichen Rahmen präsentiert wurde. Die Kursinhalte wurden uneinheitlich bewertet. Zwar überwog auch hier die gute Beurteilung der angebotenen Themenmischung, allerdings wurde die Wichtigkeit einzelner Themen in Frage gestellt und der Umfang des dargebotenen Stoffes kritisiert. Die Praxisbezogenheit wurde als angemessen angesehen; einige Teilnehmer wünschten sich dennoch mehr praktische Beispiele. Die Methodik wurde mehrheitlich positiv beurteilt. Der Schwierigkeitsgrad des Kurses, die verständliche Darstellung der Themen und die Struktur der

Präsentationen wurden als gut erachtet; eine bessere Gestaltung der Folien wurde gewünscht. Als sehr sinnvolle Ergänzung des Frontalunterrichts wurde die Demonstration angesehen. Die den Kurs begleitenden Unterlagen mit den vermittelten Inhalten wurden sehr positiv bewertet. Besonders hervorzuheben ist, dass die Teilnehmer dem Thema Strahlenunfallmanagement eine hohe Relevanz zusprachen und bereits vor Kursbeginn ein hohes Interesse an diesem Thema hatten. Neben dem Interesse wurden der günstige Termin, die Kostenfreiheit und die Fortbildungspunkte als weitere Motive für den Besuch des Kurses genannt. Das Interesse an einem Aufbaukurs wurde als sehr groß angegeben. Die Selbsteinschätzung des Lernerfolgs war hoch. Überwiegend sehr gut bis gut fiel die Bewertung der Dozenten aus. In der Gesamtbeurteilung nach dem Notensystem gaben die Teilnehmer dem Pilotkurs eine sehr gute bis gute Note.

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

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Das optimierte Gesamtkonzept wird in einem zweiten Fortbildungskurs im Februar 2010 umgesetzt und die organisatorische, inhaltliche und methodische Weiterentwicklung des Grundkurses erneut evaluiert. Weitere Arbeitsschwerpunkte werden die Etablierung des Curriculums als Musterkurs für eine verpflichtende Fortbildung und die Konzeption eines Aufbaukurses sein, der sich an Leitende Notärzte als Zielgruppe richten wird.

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 St.Sch. 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. Schauer

1. ZIELSETZUNG

Mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS 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 ist 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 sollen beispielhaft für ein Kernkraftwerk mit Siedewasserreaktor (SWR) und ein Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor (DWR) die Unfallabläufe ermittelt werden, die zu einem Anlagenzustand führen können, bei dem es zu einer relevanten Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umgebung kommt.

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

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

2.3 BEWERTUNG RADIOLOGISCHER KONSEQUENZEN VON EREIGNISVERLÄUFEN IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB

Es soll 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

Die radiologischen Konsequenzen von schweren Störfällen im Nichtleistungsbetrieb und Leistungsbetrieb werden miteinander verglichen.

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

Als Ergebnis der unter 2.2 und 2.4 durchgeführten Analysen und Arbeiten werden zur Aufnahme in die RODOS-Quelltermdatenbank sowohl für eine DWR (Druckwasserreaktor)-Anlage als auch für eine SWR (Siedewasserreaktor)-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 erfolgt 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 werden die Ergebnisse vorliegender nationaler und internationaler Untersuchungen zu Freisetzungssanteilen und dem zeitlichen Verlauf der Freisetzung einbezogen. Die Ermittlung der radiologischen Konsequenzen erfolgt in Anlehnung an die Modelle und Parameter der Störfallberechnungsgrundlagen. Die hierfür erforderlichen Ausbreitungsrechnungen erfolgen 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 werden für repräsentative Kernschadenszustände unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorliegender Untersuchungen zum Ablauf schwerer Störfälle beim Nichtleistungsbetrieb Unfallablaufanalysen durchgeführt und entsprechende vereinfachte Unfallablaufbäume erstellt. In diese Analysen werden 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 werden typische Freisetzungskategorien festgelegt, die die relevanten Freisetzungspfade abdecken. Für diese Freisetzungskategorien werden die zugehörigen Quellterme abgeschätzt. Mindestens berücksichtigt werden dabei wegen ihrer radiologischen Relevanz die Elemente Krypton, Xenon, Jod und Cäsium. Ggf. werden weitere radiologisch relevante Elementgruppen hinzu gezogen.

4.3 BEWERTUNG RADIOLOGISCHER KONSEQUENZEN VON EREIGNISVERLÄUFEN IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB

Die aus den abgeschätzten Quelltermen resultierende Strahlenexposition wird in Anlehnung an die Modelle und Parameter der Störfallberechnungsgrundlagen berechnet. Zusätzlich wird 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 werden für Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb die unter 4.3 ermittelten radiologischen Konsequenzen zu Grunde gelegt. Für den Leistungsbetrieb werden die radiologisch dominanten Ereignisse aus vorliegenden probabilistischen Sicherheitsanalysen der Stufe 2 herangezogen.

5. ERGEBNISSE

Im Berichtszeitraum wurden für den Nichtleistungsbetrieb einer DWR-Anlage die beiden Auslösenden Ereignisse „Ausfall der Nachwärmeabfuhr durch Betriebsversagen“ und „Ausfall der Nachwärmeabfuhr durch Fehlanregung der Notkühlkriterien“ ausgewählt, jeweils der Ereignisablauf vom auslösenden Ereignis bis zum Gefährdungszustand (PSA Stufe 1) sowie der weitere Unfallablauf bis zu einer Freisetzung (PSA Stufe 2) untersucht und die Freisetzungspfade und die frühesten Freisetzungszeitpunkte ermittelt. Für die Unfallabläufe der

beiden o. g. auslösenden Ereignisse bei der DWR-Anlage sowie für die vor dem Berichtszeitraum ausgewählten auslösenden Ereignisse bei einer SWR-Anlage erfolgte eine Zusammenstellung von Freisetzungskategorien, die bei der Lagebewertung in einem radiologisch relevanten Ereignisfall herangezogen werden können. In den Freisetzungskategorien erfolgte die Ermittlung der Quellterme anhand der ermittelten Freisetzungsguppen. Auf der Grundlage dieser Quellterme wurden für die SWR-Anlage die radiologischen Auswirkungen auf die Bevölkerung in der Umgebung im Nichtleistungsbetrieb (NLB) ermittelt und mit den radiologischen Auswirkungen im Leistungsbetrieb (LB) verglichen. Insgesamt zeigten sich bei den Freisetzungsguppen, die zu einer Kernschmelze führen, nur relativ geringe Unterschiede (max. ca. 30%) zwischen der Strahlenexposition im LB und NLB auf Grund der die Dosis dominierenden langlebigen Aktiniden, deren Aktivität im längeren Abklingzeitraum des NLB durch den radioaktiven Zerfall nur geringfügig reduziert wird. Bei den Freisetzungsguppen ohne Kernschmelze sind die Unterschiede etwas größer (bis zu ca. 60%), da auch kürzerlebige Nuklide wie I-131 wesentlich zur Dosis beitragen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Analog zur Vorgehensweise für die SWR-Anlage werden für die DWR-Anlage die radiologischen Auswirkungen auf die Bevölkerung in der Umgebung im NLB ermittelt und mit den radiologischen Auswirkungen im LB verglichen. Anschließend werden aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen sowohl für die DWR-Anlage als auch für die SWR-Anlage jeweils Quellterme für radiologisch relevante Freisetzungskategorien zur Aufnahme in die RODOS-Quelltermdatenbank vorgeschlagen.

Thema

Bewertung der radiologischen Relevanz der sich am Standort eines KKW befindenden Inventare (außer Kerninventar) als Input für das Entscheidungshilfesystem RODOS

Subject

Evaluation of the radiological relevance of inventories on NPP-Sites without core-inventory as input data for the realtime online decision support system RODOS

Kennzeichen

St.Sch. 3608S06006

Beginn

01.08.2008

Ende

31.01.2010

Fördermittel

EUR 95.426,-

Forschungs- / Auftragnehmer

TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG, Hamburg

Projektleitung

Chr. Löffler

Fachbetreuung BfS

N. Zander / SW 2.2

verantwortlich für den Text

Chr. Löffler, N. Zander

1. ZIELSETZUNG

Das Entscheidungshilfesystem RODOS soll den zuständigen Behörden helfen, bei einem Unfall in einer kern-technischen Anlage eine mögliche Gefährdung in der Umgebung zu bewerten und die entsprechenden Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung zu ergreifen. Dabei spielt die frühzeitige Bereitstellung von möglichst zuverlässigen Eingabedaten eine wesentliche Rolle. Die bisher in der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS hinterlegten Eingabedaten bezüglich der anzunehmenden Freisetzungskategorien im Ereignisfall beziehen sich ausschließlich auf Leistungsbetriebszustände von Kernkraftwerken und das vorhandene Kerninventar. Unfallabläufe mit Freisetzung sonstiger, sich am Standort eines Kernkraftwerkes befindenden Aktivitätsinventare, werden gegenwärtig nicht berücksichtigt, da entsprechende Abschätzungen für RODOS bisher nicht vorliegen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Ergebnis des Vorhabens sollen konkrete Empfehlungen zur ggf. erforderlichen Ergänzung der im Entscheidungshilfesystem RODOS hinterlegten Inventar- und Quelltermdaten für radiologisch relevante Ereignisverläufe ohne Kerninventarfreisetzung erarbeitet werden.

2.1 ERMITTLUNG DER AKTIVITÄTSINVENTARE AUßERHALB DES REAKTORKERNS UND DEREN FREISETZUNGSPOTENTIALE

Im Rahmen des Vorhabens sollen sonstige Aktivitätsinventare (außerhalb des Reaktorkerns) am Standort einer DWR (Druckwasserreaktor)- und einer SWR (Siedewasserreaktor)-Referenzanlage im Hinblick auf die Aktivitätshöhe, Nuklidzusammensetzung und Freisetzungspotenziale zusammengestellt werden.

2.2 RELEVANZ DER ABGESCHÄTZTEN RADIONUKLIDFREISETZUNGEN FÜR DIE STRAHLENEXPOSITION DER BEVÖLKERUNG

Weiterhin ist auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse die Relevanz der abgeschätzten Radionuklidfreisetzen für die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung von Referenzanlagen mittels geeigneter Analysen zu bewerten. Dabei ist eine vergleichende Analyse der radiologischen Konsequenzen bei Ereignissen mit Kerninventarfreisetzung und mit Freisetzen sonstiger radioaktiver Inventare vorzunehmen und zu diskutieren.

3. METHODIK

3.1 ZUSAMMENSTELLUNG SONSTIGER AKTIVITÄTSINVENTARE (AUßER KERNINVENTAR) AN DEN STANDORTEN EINER DWR- UND EINER SWR-REFERENZANLAGE

Aus der Begutachtungs- und Überwachungstätigkeit liegen umfangreiche Daten und Informationen vor, aus denen die Aktivitätsinventare von Systemen und Komponenten ermittelt werden können.

Weiterhin liegen über radioaktive Abfälle aus Kernkraftwerken, ihre Nuklidvektoren, Inventare, Art der Behandlung und Verpackung umfangreiche Datensätze vor. Diese stammen zum einen aus im Hinblick auf die Endlagerung erhobenen Daten, zum anderen aus der Begutachtung von verschiedenen Zwischenlagern, in denen Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken aufbewahrt werden oder werden sollen.

3.2 ANALYSE VON FREISETZUNGSPOTENTIALEN UND RADIOLOGISCHER RELEVANZ BEI EINER FREISETZUNG SONSTIGER AKTIVITÄTSINVENTARE IN BEIDEN REFERENZANLAGEN

Für verpackte Abfälle werden die in der Literatur und in Genehmigungsverfahren angegebenen Freisetzungsteile herangezogen und in Abhängigkeit von der Behälterart und der Art der Einwirkung (mechanisch, thermisch, Kombination aus beidem) zur Bestimmung der Quellterme herangezogen.

Zum Freisetzungsverhalten bei massiven mechanischen und / oder thermischen Einwirkungen auf Systeme und Komponenten sind keine weiteren einschlägigen Untersuchungen mit experimentellem Hintergrund bekannt. Es wurden daher konservative Annahmen für einzelne Parameter vorgenommen und abdeckende Freisetzungsteile angesetzt, um die radiologischen Auswirkungen abschätzen zu können.

3.3 VERGLEICHENDE ANALYSE ZU RADIOLOGISCHEN KONSEQUENZEN BEI EREIGNISVERLÄUFEN MIT KERNINVENTARFREISETZUNG UND MIT FREISETZUNG SONSTIGER AKTIVITÄTSINVENTARE

Mit den ermittelten Quelltermen werden Dosisberechnungen mit dem Programm SAFER 2, das den Leitfaden für den Fachberater Katastrophenschutz umsetzt, durchgeführt. Es wird ein Spektrum möglicher Wetterlagen herangezogen. Zur Entscheidung über die Notwendigkeiten von Katastrophenschutzmaßnahmen werden die berechneten Dosiswerte mit den Eingreifrichtwerten der Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen verglichen.

Um die Auswirkungen von Quelltermen, die kein Kerninventar beinhalten, mit Ereignissen zu vergleichen, bei denen Kerninventar freigesetzt wird, wurden Berechnungen mit Freisetzungskategorien der Deutschen Risikostudie, Phase B, durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ZUSAMMENSTELLUNG SONSTIGER AKTIVITÄTSINVENTARE (AUßER KERNINVENTAR) AN DEN STANDORTEN EINER DWR- UND EINER SWR-REFERENZANLAGE

Für die Bestimmung der Aktivitätsinventare im Brennelementlagerbecken sowie in Systemen und Komponenten wurden die zur Verfügung stehenden Daten von drei Druckwasseranlagen (DWR) und zwei Siedewasseranlagen (SWR) ausgewertet. Aus der Bandbreite der Ergebnisse wurden Daten für eine DWR- und eine SWR-Referenzanlage abgeleitet.

Die Menge und die Aktivitätskonzentration von in deutschen Kernkraftwerken anfallenden radioaktiven Abfällen wurden einschlägigen Veröffentlichungen entnommen. Anhand von Daten aus Genehmigungsverfahren wurden diese Abfälle Lagerbehältern zugeordnet und die Aktivitätsinventare nuklidspezifisch dargestellt.

4.2 ANALYSE VON FREISETZUNGSPOTENTIALEN UND RADIOLOGISCHER RELEVANZ BEI EINER FREISETZUNG SONSTIGER AKTIVITÄTSINVENTARE IN BEIDEN REFERENZANLAGEN

Für die Abfälle wurden die Quellterme für 3 verschiedene Behältergruppen und bis zu 6 Abfallgruppen und zwei Szenarien (mechanische sowie gleichzeitige mechanische und thermische Einwirkung) ermittelt.

Für die Freisetzungen aus abgebrannten Brennelementen im Brennelementlagerbecken wurden zwei Szenarien mit erheblichen Zerstörungen betrachtet.

Für Systeme und Komponenten wurde von einer Zerstörung des Gebäudes und einer unmittelbaren Freisetzung in die Umgebung ausgegangen. Da für ein solches Szenario keine Untersuchungen über Freisetzungsteile vorliegen, wurde konservativ eine Freisetzung des gesamten Aktivitätsinventars des Systems oder der Komponente angesetzt.

4.3 VERGLEICHENDE ANALYSE ZU RADIOLOGISCHEN KONSEQUENZEN BEI EREIGNISVERLÄUFEN MIT KERNINVENTARFREISETZUNG UND MIT FREISETZUNG SONSTIGER AKTIVITÄTSINVENTARE

Zum Vergleich wurden zwei Ereignisse bei einem Kernschmelzunfall ausgewählt, die hohe und niedrige Mengen an Nuklidfreisetzungen beinhalten. Mit dem Programm SAFER 2 wurden die potenziellen Strahlenexpositionen berechnet. Diese Dosiswerte wurden mit dem Quellterm „Freisetzung aus dem Brennelementlagerbecken“ verglichen.

5. ERGEBNISSE

5.1 ZUSAMMENSTELLUNG SONSTIGER AKTIVITÄTSINVENTARE (AUßER KERNINVENTAR) AN DEN STANDORTEN EINER DWR- UND EINER SWR-REFERENZANLAGE

Es wurden mittlere nuklidspezifische Aktivitätsinventare im BE (Brennelemente)-Lagerbecken, in den Mischbettfiltern, den Harzsammelbehältern, der Abwasserbehandlungsanlage, der Abgasanlage sowie dem Volumenausgleichsbehälter (nur DWR) für eine DWR- und eine SWR-Referenzanlage zusammengestellt. Daten von Luftfiltern konnten nicht ermittelt werden, die radiologische Relevanz ist jedoch gering.

Unabhängig vom Reaktortyp wurden für die Gebindetypen Stahlblechcontainer / 20'-Container, Betonbehälter / Betoncontainer und Gussbehälter Typ II und jeweils die Abfallarten feste Reststoffe, Verdampferkonzentrate, Ionenaustauscherharze und Filterschlämme die Aktivitätsinventare je Gebinde angegeben. Es wurde unterschieden zwischen Aktivitätsinventar im bestimmungsgemäßen Betrieb und im Störfall.

5.2 ANALYSE VON FREISETZUNGSPOTENTIALEN UND RADIOLOGISCHER RELEVANZ BEI EINER FREISETZUNG SONSTIGER AKTIVITÄTSINVENTARE IN BEIDEN REFERENZANLAGEN

Auf Grund nicht bekannter Freisetzungsanteile bei einem schweren Störfall wurden konservative Annahmen für die Quelltermmittlung getroffen. Zu Überschreitungen der Eingreifrichtwerte für Katastrophenschutzmaßnahmen führten Freisetzungen aus folgenden Bereichen: BE-Lagerbecken, sonstige Abfälle (alle Abfallbehälter aus einem Zehnjahreszeitraum wurden zerstört), SWR-Reaktorgebäude und DWR-Hilfsanlagengebäude (es wurden jeweils alle untersuchten Systeme und Komponenten gleichzeitig zerstört), Mischbettfilter der Kühlmittelreinigung, Harzsammelbehälter und für Abfälle in einem Stahlblechcontainer / 20'-Container. Für alle weiteren Systeme, Komponenten und Abfälle ergaben sich keine Überschreitungen der Eingreifrichtwerte.

5.3 VERGLEICHENDE ANALYSE ZU RADIOLOGISCHEN KONSEQUENZEN BEI EREIGNISVERLÄUFEN MIT KERNINVENTARFREISETZUNG UND MIT FREISETZUNG SONSTIGER AKTIVITÄTSINVENTARE

Zusammenfassend zeigt der Vergleich, dass der höchste ermittelte Quellterm „BE-Lagerbecken“ unter ungünstigen Umständen zu Dosiswerten führen kann, die im unteren Bereich der Quellterme der Deutschen Risikostudie, Phase B, liegen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die in einem radiologisch relevanten Ereignisfall zu berücksichtigenden Freisetzungen sonstiger Aktivitätsinventare und Vorschläge zu ihrer Aufnahme in die RODOS-Datenbank sollen zusammengestellt werden.

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 St.Sch. 3608S06007	Beginn 23.06.2008	Ende 30.04.2010	Fördermittel EUR 128.520,-
Forschungs- / Auftragnehmer Bircomp GmbH, Dottikon (Schweiz)			
Projektleitung R. Bendzko	Fachbetreuung BfS N. Zander / SW 2.2	verantwortlich für den Text N. Zander	

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines elektronischen Meldeverfahrens auf der Grundlage geltender behördlicher Melderegungen 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 wird 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 (realtime 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 / BfS 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 (s. Abbildung 1).

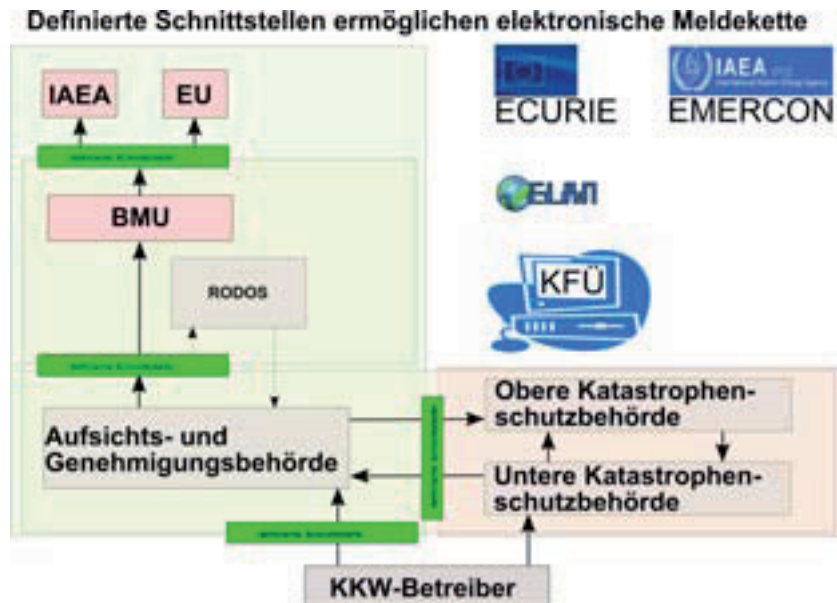


Abbildung 1:
Schematische Darstellung des elektronischen Meldeweges

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.

Der Auftragnehmer hat ausgehend von den Ergebnissen der ersten beiden Arbeitspakete ein computergestütztes Meldeverfahren entwickelt.

Die erforderlichen Schnittstellen für die Datenübermittlung wurden unter Berücksichtigung der Informationssysteme der einzelnen Meldeknoten 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 sowie zum Anlagenzustand als auch zur radiologischen Lage wurden über die bestehende KFÜ-Verbindung an die zuständige Landesbehörde

de 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 (European Community Urgent Radiological Information Exchange)- und EMERCON (Emergency Convention)-Meldeberichte konnten dem BMU zwecks Prüfung und ggf. erforderlicher Bearbeitung zur Verfügung gestellt werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

In einem Nachfolgevorhaben soll das bereits entwickelte elektronische Meldeverfahren an den aktuellen Stand der internationalen Anforderungen unter Verwendung des IRIX (ein Computersystem, das auch für Datentransfer geeignet ist)-Formates angepasst werden. Weiterhin soll ein Tool zur Plausibilitätsprüfung der an die Informationssysteme ECURIE und EMERCON zu übertragenden Daten entwickelt und realisiert werden.

Die aktualisierte Version des elektronischen Meldeverfahrens soll im Rahmen von Notfallübungen inklusive Übertragung der erforderlichen Daten an EU und IAEA getestet werden.

Thema

Entwicklung eines Raumtemperatur-Halbleiterdetektors auf Cadmium-Zink-Tellurid (CZT)-Basis für den Einsatz im ODL-Messnetz des BfS

Subject

Development of room temperature semiconductor detectors based on Cadmium-Zink-Tellurid (CZT) for the German gamma dose rate network

Kennzeichen

St.Sch. 3608S06008

Beginn

01.08.2008

Ende

31.08.2010

Fördermittel

EUR 226.200,-

Forschungs- / Auftragnehmer

X-ray Imaging Europe GmbH, Freiburg

Projektleitung

Dr. A. Fauler

Fachbetreuung BfS

Dr. U. Stöhlker / SW 2.4

verantwortlich für den Text

Dr. M. Fiederle

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen des Vorhabens St.Sch. 3608S06008 „Entwicklung eines Raumtemperatur-Halbleiterdetektors auf Cadmium-Zink-Tellurid (CZT)-Basis für den Einsatz im ODL(Ortsdosisleistung)-Messnetz des BfS“ wurden diverse Arbeiten zur Überprüfung des Konzepts von segmentierten Detektoren und die Integration mit einem Gamma Multi-Channel-Analyzer GMCA für den Einsatz im ODL-Netzwerk des Bundesamts für Strahlenschutz durchgeführt.

Konventionelle Halbleiter-Detektorsysteme bestehen aus einem monolithischen Halbleiterstück, dessen Volumen die Detektoreffizienz bestimmt. Für die Herstellung solcher Detektoren wird Material aus der Kristallzüchtung auf einkristalline Bereiche hin untersucht. Diese Bereiche werden anschließend heraus präpariert und zu einem Detektor weiterverarbeitet. Dieser aufwendige Prozess bestimmt derzeit den Preis eines großvolumigen Cadmium-Zink-Tellurid-Halbleiterdetektors. Gleichzeitig ist das maximale „Eindetektorvolumen“ durch Ladungsträgereigenschaften begrenzt. Um auch kleinere einkristalline Bereiche der Züchtung für die Produktion von Detektorvolumen zu nutzen, wird hier das Konzept verfolgt, das Gesamtvolumen aus zwei bis drei Detektoren zu bilden.

Für hochenergetische Gammastrahlung entsteht der Photopeak meist nicht aus einer einzelnen (Photoeffekt-)Wechselwirkung im Kristall, sondern aus mehreren Wechselwirkungen (zunächst ein oder mehrmals Comptoneffekt, dann Photoeffekt des gestreuten Photons). Bei Segmentierung eines Detektors in mehrere Teildetektoren ist es daher erforderlich, in den Teildetektoren auftretende koinzidente Wechselwirkungen festzustellen und die deponierten Teilladungen zu summieren. Nur auf diese Weise kommt die Photopeak-Effizienz an die eines monolithischen Systems heran.

Um ein Detektorsystem auf Cadmium-Zink-Tellurid (CZT)-Basis für den Einsatz im ODL-Messnetz des BfS erfolgreich entwickeln zu können, wurde ein neues Konzept von segmentierten Detektoren entwickelt. Dieses Konzept besteht alternativ aus einem segmentierten Detektorsystem aus mehreren monolithischen Coplanar Grid (CPG) Detektoren mit $15 \times 15 \times 7,5 \text{ mm}^3$ „BFS2“ oder $15 \times 15 \times 5 \text{ mm}^3$ „BFS3“.

Eine Konsequenz aus dem segmentierten Detektorsystem ist die Weiterentwicklung der Ausleseelektronik (GMCA) und die Integration der einzelnen Detektoreinheiten. Für jeden Teildetektor wird eine Auswertelektronik benötigt, die Energie und Wechselwirkungszeitpunkt bestimmt und mit den anderen Auswerteeinheiten austauscht. Der derzeit in Entwicklung befindliche GMCA wird durch das FPGA (Full Programmable gate array)-Konzept mit nur geringfügigen Hardwareerweiterungen dazu in der Lage sein, für alle Teildetektoren gleichzeitig diese Anforderungen zu erfüllen.

Gleichzeitig muss neben der Anpassung der Hardware die Software an die segmentierten Detektoren angepasst werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Innerhalb des Forschungsvorhabens wurden die folgenden Arbeitspakete als Einzelziele definiert:

1. Machbarkeitsstudie,
2. Entwicklung,
3. Technische Umsetzung.

Nach Abschluss der einzelnen Arbeitspakete wird ein Zwischenbericht vorgelegt, in dem der Stand des Vorhabens beschrieben und dokumentiert wird.

3. METHODIK

Das Gesamtvorhaben wurde modularisiert und wie bereits beschrieben, in einzelne Arbeitspakete untergliedert. Auf Grund dieser Modularisierung lässt sich der Projektfortschritt objektiv bewerten.

Es wurde ein Konzept segmentierter Detektoren entwickelt, bei dem mehrere CPG- Detektoren das Gesamtsystem bilden. Um diese Zusammenschaltung zu ermöglichen, wurde die Ausleseelektronik (GMCA) an die sich dadurch ergebenden speziellen Anforderungen angepasst.

1. Machbarkeitsstudie

Es wurden die folgenden Arbeiten durchgeführt

- 1.1 Konzept Detektordesign BFS1, BFS2 und BFS3,
- 1.2 Anpassung GMCA an BFS2, BFS3,
- 1.3 Konzept für technische Umsetzung.

2. Entwicklung der Detektoren

- 2.1 Kristallzüchtung,
- 2.2 Präparation,
- 2.3 Prozessierung.

3. Technische Umsetzung

- 3.1 Fertigung segmentierter Detektoren,
- 3.2 Kristallzüchtung von CdZnTe Kristallen und die Präparation von Co-Planar-Grid (CPG) Detektoren.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 MACHBARKEITSSTUDIE

Die Umsetzung für ein segmentiertes Detektorsystem wurde für das Konzept BFS3 überprüft, das von den Anforderungen her am anspruchvollsten ist.

4.1.1 Konzept Detektordesign BFS1, BFS2 und BFS3

Bei den Konzepten BFS2 und BFS3 handelt es sich um die Zusammenschaltung von mehreren Detektoren zu einem Detektormodul. Jeder der Teildetektoren besitzt dabei einen eigenen ladungsempfindlichen Vorverstärker und sein eigenes Detektorrauschen, das nicht korreliert ist mit dem der anderen Teildetektoren. Um die Auswirkungen des Rauschens auf das Gesamtsignal zu prüfen wurde eine Softwaresimulation für das Konzept BFS3 durchgeführt. Dabei wurden die physikalischen Effekte (Photo- / Comptoneffekt) in einem gestapelten Detektormodul mit drei Detektoren der Abmessungen $1,5 \times 1,5 \times 0,5 \text{ cm}^3$ simuliert. Die deponierten Energien wurden mit dem Ort der Wechselwirkung protokolliert und einer Auswertung zugeführt. Alle folgenden Simulationen wurden mit einfallenden Cs-137-Gammaquanten (662keV) simuliert.

Hierbei zeigen sich leichte Unterschiede der erhaltenen Spektren der Subdetektoren 1-3. Das Compton-Photon, das von der 180° Rückstreuung herrührt (bei ca. 180 keV) ist je nach Detektorposition unterschiedlich stark in den Teilspektren vorhanden.

Es wird deutlich, dass die digitale Koinzidenzschaltung dem Einzeldetektor nicht nachsteht. Der einzige Nachteil besteht darin, dass die Einzeldetektoren einer Energieanpassung zueinander unterzogen werden müs-

sen, die auch für die Energieauflösung der Koinzidenzschaltung von hoher Bedeutung ist. Diese Energieanpassung der Teildetektoren aufeinander könnte jedoch Teil der Softwareentwicklung im Rahmen der GM-CA-Erweiterung werden.

4.1.2 Anpassung GMCA an BFS2 und BFS3

Der derzeitige Entwicklungsstand ist für die FPGA-Programmierung zusammengefasst:

Funktion	in VHDL umgesetzt und simuliert	auf Testplattform hardwaremäßig geprüft
MWD (moving window deconvolution)-Algorithmus	✓	✓
Trigger- und Vetoalgorithmus	✓	✓
Parameterübergabe von Mikroprozessor an FPGA via serielles Interface	✓	✓
Spektrenerzeugung und Speicherung in externem SRAM (static RAM)	✓	✓

Der gewählte FPGA bietet genug so genannte Slices, also Schalt- und Logikgatter, um die Funktion von zwei MCAs (multi channel analyser) zu erfüllen. Auch die Anzahl der IO (input / output)-Pins zur Anbindung einer ausreichenden Zahl von ADCs (analog-to-digital converter) ist gewährleistet. Eine Koinzidenzschaltung wie in Punkt 4.1.1 dargestellt, ist ohne große Modifikationen des VHDL-Codes möglich.

Der verwendete ADC bietet bereits zwei Kanäle, deren Signale über denselben Bus an den FPGA geleitet werden können. Durch Einsatz eines weiteren ADC kann das Konzept BFS3 erfüllt werden. Dabei erhöht sich nur die Anzahl analoger Schaltkreise (Operationsverstärker, ADC-Treiber, Vorverstärkereinheit) auf dem Board, sowohl FPGA als auch Mikrocontroller werden nur einmal benötigt. Damit sinkt der Aufwand auf ein Minimum.

4.1.3 Konzept für die technische Umsetzung

Die Verbindungstechnologie zur Umsetzung der Detektorsysteme BFS2 und BFS3 ist identisch mit der Technologie für ein Einzeldetektorsystem. Für alle drei Varianten werden Coplanargrid Detektoren gefertigt mit dem entsprechenden Frontside-Kontakt und einer Passivierung zwischen den Frontside-Elektroden und der Detektorseitenflächen.

Die technologische Umsetzung wurde bereits mit Detektoren unterschiedlicher Hersteller umgesetzt. Es wurden mehrere Detektoren der Firmen Eurorad und Redlen mit jeweils 5 mm Detektordicke prozessiert.

4.2 KRISTALLZÜCHTUNG VON CZT-KRISTALLEN

Die Herstellung von Coplanar-Grid-Detektoren gemäß Spezifikation erfordert einerseits die Züchtung von (Cd,Zn)Te mit einem spezifischen Widerstand $>8 \cdot 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$, andererseits müssen die Ladungsträger möglichst gute Beweglichkeiten und Lebensdauern aufweisen.

Auf Grund neuerer Veröffentlichungen sind bei der Frage der Ladungstransporteigenschaften die Tellureinschlüsse in den letzten Jahren in den Fokus gerückt. Ein wesentliches Ergebnis dieser Arbeiten besteht in der quantitativen Analyse des Zusammenhanges zwischen Einschlussgröße und Energieauflösung des untersuchten Detektors.

Um die Einschlussdichte und die maximale Einschlussgröße zu reduzieren, wurden in Zusammenarbeit mit der Firma Eurorad ein neuer 32 mm THM (Travelling Heater Method) Ofen aufgebaut und erste Experimente durchgeführt. Schon das erste Züchtungsexperiment zeigt eine signifikante Reduzierung der Einschlussdichte bzw. der Größenverteilung.

5. ERGEBNISSE

Die Simulationen und Berechnungen zeigen, dass das Konzept mit mehreren Detektoren sowohl von den erwarteten Spezifikationen als auch von der Hardwareumsetzung keine Nachteile im Vergleich zu einem Einzeldetektor besitzt. Damit kann die geplante Umsetzung entsprechend dem Arbeitsprogramm fortgesetzt werden. Die Ergebnisse des Einzeldetektorsystems BFS1 werden mit den zwei bzw. drei Detektorkonzept vergli-

chen. Für die geplante Realisierung des BFS-Detektorsystems müssen im folgenden Arbeitsprogramm weitere Anforderungen berücksichtigt werden. Dies sind im Besonderen die Verfügbarkeit und die Kosten der unterschiedlichen Lösungen.

Es konnten CdTe und (Cd,Zn)Te Kristalle mit einem Durchmesser von 75 mm und einer Masse von 3,0 Kg erfolgreich gezüchtet werden. Die Kristalle zeigen einen hohen spezifischen Widerstand von mehr als 10^9 Ohmcm (CdTe) und 10^{10} Ohmcm (Cd,Zn).

Es wurden Co-Planar-Grid Detektoren sowohl aus eigener Züchtung als auch von kommerziellen Anbietern (Redlen, Canada) prozessiert. Die Größen der CPG-Detektoren betragen $15 \times 15 \times 5$ und $12 \times 12 \times 10$ mm³. Es wurden weitere Redlen-Testdetektoren mit vorgestelltem Elektrodendesign hergestellt und charakterisiert.

Die Energieauflösung der bisherigen Messungen zeigt eine FWHM (full width half maximum) von 2,6 Prozent. Dieser Wert entspricht annähernd der geforderten Auflösung. Die Prozessierung der CPG-Detektoren ist damit erfolgreich. Weitere Verbesserung der Auflösung wird durch eine Modifizierung der Vorverstärkerelektronik zu erreichen sein.

Das Volumen des Redlen-2 Detektors beträgt $19 \times 19 \times 5$ mm³ = 1,8 mm³ und entspricht so dem halben geforderten Volumen. Zwei dieser Detektoren sind daher ausreichend zur Erfüllung der Anforderungen an Detektionseffizienz.

Damit stehen zwei unabhängige Quellen von Kristallen zur Verfügung, um die weiteren Arbeitspakete erfolgreich durchzuführen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für die Herstellung der Detektorsysteme steht ab Mitte 2010 ein digitaler Vielkanal-Analysator GMCA zur Verfügung, der es ermöglicht sowohl monolithische als auch segmentierte Detektoren mit zwei Detektoren einzusetzen. Neben Erweiterungen in der Hardware muss auch die Auswertung durch die Software des GMCA für segmentierte Detektoren angepasst werden. Die Assemblierung der Systeme für die drei Detektorkonzepte erfordert die Fertigung von angepassten Platinen und die Weiterentwicklung der Verbindungstechnologie. Nach der Fertigung der Detektorsysteme erfolgt die Kalibrierung im Strahlenkanal in München. Eine abschließende Bewertung und die Auswahl für das endgültige Detektordesign beenden dieses Arbeitspaket und dienen als Grundlage für die technische Umsetzung.

Nach der Auswahl des Detektortyps werden insgesamt fünf Detektorsysteme des gleichen Typs hergestellt. Dies beinhaltet die Kristallzüchtung, die Assemblierung und Integration der Systeme mit der GMCA Auslese-einheit. Die fünf Systeme werden in München mit Quellen kalibriert und unter realen Messbedingungen auf dem Schauinsland vermessen und ins ODL-Messnetz des BfS integriert. Eine Präsentation über die Entwicklung der Detektorsysteme und ein Konzept für die Herstellung weiterer Systeme findet nach den erfolgten Messungen statt.

Die bisherigen Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Ziele des Vorhabens erreicht werden können. Die Verfügbarkeit der Detektoren unterstützt das mittelfristige Ziel des Einsatzes spektroskopischer Messsysteme im ODL-Messnetz des BfS. Nach Ablösung der Geiger-Müller-Zählrohre stehen on-line spektroskopische Informationen zur Verfügung. Die Anpassung des IMIS (Integriertes Mess- und Informationssystem)-Messprogramms ist jedoch erst nach erfolgreichem verlaufenem Langzeittest sinnvoll.

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 during power operation</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3609S60009	Beginn 01.06.2009	Ende 30.09.2010	Fördermittel EUR 131.535,-
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, Dr. O. Rösch, N. Zander	

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung von Vorschlägen zur Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS (realtime online decision support system) in Übereinstimmung mit dem Stand von Wissenschaft und Technik. Weiterhin sollen radiologische Konsequenzen bei Ereignissen mit ermittelten Quelltermen analysiert werden und ggf. Vorschläge zur Optimierung des Notfallschutzkonzeptes unterbreitet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens ist die Aktualisierung der RODOS-Quelltermbibliothek unter Berücksichtigung neuerer Ergebnisse probabilistischer Sicherheitsuntersuchungen. Dabei ergeben sich folgende Einzelziele:

2.1 ZUSAMMENSTELLUNG VON RELEVANTEN QUELLTERMEN AUS NEUEREN UNFALLANALYSEN

Dies umfasst die Berücksichtigung der aktuellen Ergebnisse probabilistischer Untersuchungen für unfallbedingte Quellterme für deutsche Kernkraftwerke im Leistungsbetrieb sowie die Auswahl der Quellterme aus Ergebnissen probabilistischer Sicherheitsanalysen (PSA) im Hinblick auf ihre Relevanz für das Notfallschutzkonzept.

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 wird 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 Maßnahmen des Katastrophenschutzes und der Strahlenschutzvorsorge.

2.3 EMPFEHLUNGEN UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Ergebnisse zu Quelltermen aus PSA, mögliche radiologische Auswirkungen dieser Quellterme und ihre Bedeutsamkeit für das bestehende Notfallschutzkonzept sollen analysiert werden. Daraus werden Empfehlungen für eine Aktualisierung der Quelltermbibliothek abgeleitet.

Ggf. werden Empfehlungen zur Optimierung des bestehenden Notfallschutzkonzeptes unter Berücksichtigung möglicher radiologischer Konsequenzen aktualisierter Quellterme ausgesprochen.

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

Abstimmung mit dem Auftraggeber in entsprechenden Gremien (insbesondere RSK und SSK) vorgestellt und diskutiert.

3. METHODIK

Als hauptsächliche Informationsquelle werden neuere PSA für eine Druckwasserreaktor (DWR)- und eine Siedewasserreaktor (SWR)-Referenzanlage genutzt, um diejenigen Unfallabläufe zu identifizieren, die für eine Aufnahme in die RODOS-Quelltermbibliothek grundsätzlich zu empfehlen sind. Die Ermittlung detaillierter Quellterme geschieht insbesondere durch Auswertung der mit dem Rechenprogramm MELCOR in den PSA durchgeführten Unfallablaufanalysen.

Die Ermittlung der radiologischen Konsequenzen gliedert sich in zwei Stufen. Neben einer Grobanalyse (Screening) durch Vergleich mit den einschlägigen Eingreifrichtwerten für Maßnahmen des Katastrophenschutzes erfolgt eine Detailanalyse mit RODOS.

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

4. DURCHFÜHRUNG

Entsprechend der Einzelziele wird die Durchführung des Vorhabens in drei Arbeitspakete gegliedert.

4.1 QUELLTERME AUS NEUEREN UNFALLANALYSEN

Als Kriterien für die Auswahl von Unfallabläufen werden vor allem die Häufigkeit des Ablaufs, das Ausmaß des Quellterms sowie die verfügbare Zeit, um anlagenexterne Notfallmaßnahmen zu initiieren, herangezogen. Für die so bestimmten Unfallabläufe wird der zugehörige Quellterm detaillierter ermittelt und in einem für RODOS kompatiblen Format dargestellt. Soweit möglich, findet ein Vergleich mit bisher in RODOS hinterlegten Quelltermen statt.

4.2 RADIOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN DER QUELLTERME

Die Ermittlung der radiologischen Konsequenzen erfolgt für die in 4.1 ermittelten Quellterme. Zusätzlich zu den Quellterminformationen werden für die ausgewählten Referenz-Standorte die benötigten meteorologischen Randbedingungen zur Festlegung der Ausbreitungssituation spezifiziert. Die Bewertung der radiologischen Relevanz stützt sich im Rahmen der verfügbaren RODOS-Ergebnisse auf den Vergleich der ermittelten Strahlenexposition und Kontamination mit den einschlägigen radiologischen Kriterien zur Beurteilung für Maßnahmen des Katastrophenschutzes und der Strahlenschutzvorsorge.

4.3 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Die auf Basis der neueren, im Rahmen von probabilistischen Sicherheitsanalysen ermittelten Quellterme, die mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS berechneten radiologischen Auswirkungen dieser Quellterme und die Optimierungsmöglichkeiten des anlagenexternen Notfallschutzes werden ausgewertet. Daraus werden Empfehlungen für eine Aktualisierung der Quelltermbibliothek abgeleitet. Aus dem Vergleich der analysierten radiologischen Auswirkungen der aktualisierten Quellterme mit den gegenwärtigen Planungsgrundlagen für den externen Notfallschutz werden Schlussfolgerungen für die Effizienzsteigerung des bestehenden Notfallschutzkonzeptes in Bezug auf Ereignisabläufe mit erheblichen Freisetzungen gezogen.

Die Grobanalyse wurde für die in 4.1 ermittelten Quellterme durchgeführt, wobei die Katastrophenschutzmaßnahmen „Aufenthalt in Gebäuden“, „Evakuierung“ und „Jodblockade“ betrachtet wurden. Zu diesem Zweck wurden die effektive Dosis aus Wolkenstrahlung, Bodenstrahlung und Inhalation bei siebentägigem Aufenthalt in Freien für Erwachsene sowie die Schilddrüsen-Inhalationsdosis für Erwachsene und Kinder berechnet und mit den einschlägigen Eingreif-Richtwerten verglichen.

5. ERGEBNISSE

5.1 QUELLTERME AUS NEUEREN UNFALLANALYSEN

Es wurden Freisetzungskategorien bzw. Quellterme auf der Basis der neueren probabilistischen Sicherheitsanalysen der GRS für eine DWR- und eine SWR-Anlage, die grundsätzlich für eine Aufnahme in die RODOS-Quelltermbibliothek zu empfehlen sind, identifiziert. Für alle Freisetzungskategorien für SWR-Anlagen

(bis auf eine mit partiellem Kernschmelzen) können vorhandene MELCOR-Rechnungen ohne die Notwendigkeit einer Modifikation (ausgenommen die darin grundsätzlich nicht berücksichtigte Freisetzung gasförmigen Jods) zur Festlegung eines repräsentativen Quellterms verwendet werden. Bei den Quelltermen für DWR-Anlagen können 3 Fälle mit gefilterter Druckentlastung mit kleineren Modifikationen aus einer MELCOR-Rechnung abgeleitet werden. Auch für die übrigen Freisetzungskategorien konnten MELCOR-Ergebnisse zu Grunde gelegt werden.

5.2 RADIOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN DER QUELLTERME

Zur Ermittlung der radiologischen Konsequenzen wurde planmäßig eine Grobanalyse (Screening) als Vorstufe zu den Detailauswertungen durchgeführt, bei der die radiologischen Auswirkungen nach der Methodik des „Leitfadens für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen“ abgeschätzt wurden. Methodik und Wahl der Randbedingungen dieser Grobanalyse entsprechen einer vereinfachten und tendenziell konservativen Einschätzung der radiologischen Auswirkungen. Das Screening soll einen Überblick über das Spektrum der möglichen radiologischen Auswirkungen in Verbindung mit dem Freisetzungsverlauf für verschiedene Wettersituationen ermöglichen. Es dient in diesem Zusammenhang insbesondere einer überschlägigen Einschätzung der radiologischen Relevanz und des Verhältnisses der potenziellen Auswirkungen zum bestehenden Notfallschutzkonzept.

5.3 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Im Hinblick auf die internationale Praxis bei der Notfallschutzplanung wurden bereits Informationen gesammelt, u. a. fand ein Austausch mit der schwedischen Aufsichtsbehörde SSM statt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Nach Durchführung der Detailanalyse der radiologischen Auswirkungen der Quellterme werden die vorgesehenen Schlussfolgerungen und Empfehlungen erarbeitet.

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 St.Sch. 36095S70005	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 Arbeitsschwererfahrung 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 radiologischer Notfälle erfordern eine experimentell gestützte Absicherung. In Beratungen des Notfallausschusses 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 haben:

2.1 ENTWICKLUNG VON TESTAEROSOLEN

Es sollen (auch in geringer Konzentration nachzuweisende) Testaerosole entwickelt werden, die den 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 partikelgrößenaufgelösten Messung der Freisetzungsraten sollen weiterentwickelt werden. 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 soll ein Datensatz erstellt werden, auf dessen Grundlage Schlussfolgerungen für Schutzmaßnahmen bei radiologischen Notfallsituationen abgeleitet werden. 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 wird 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 werden in einem Reinraum durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ENTWICKLUNG VON BAU VON VERSUCHSANORDNUNGEN

Zunächst wird eine langsam (laminar) durchströmte bis turbulent durchmischte Kontaminationskammer zur Aufnahme von mehreren kleinskaligen Probeflächen entwickelt, gebaut, in Betrieb genommen und validiert. Diese Kammer wird mit Vorrichtungen zur Zugabe sowohl trockener als auch nasser Aerosole ausgestattet.

Anschließend erfolgt der Bau eines Strömungskanal zur reproduzierbaren Erzeugung definierter Grenzschichtströmungen oberhalb der Testoberfläche zur repräsentativen Erfassung der resuspendierten Partikel durch einen optischen Partikelzähler.

Ferner wird eine Rüttel-/Klopfvorrichtung zur Applikation mechanischer Kräfte auf die Probematerialien konzipiert und hergestellt. Es werden unterschiedliche Krafteinwirkungen untersucht.

4.2 DURCHFÜHRUNG VON VERSUCHEN

Im ersten Schritt werden Vorversuche zur Festlegung der Versuchsrandbedingungen durchgeführt. Anschließend werden die Hauptversuche mit unterschiedlichen Parametern wie z. B. unterschiedliche Art und Höhe des Energieeintrages, unterschiedliche Oberflächenmaterialien und Oberflächenstrukturen und unterschiedliche Aerosole durchgeführt und ausgewertet. Abschließend sollen in einem Reinraum die gewonnenen Erkenntnisse durch realskalige Versuche mit realen Probanden durchgeführt werden.

5. ERGEBNISSE

In den ersten drei Monaten wurden die ersten Planungen der benötigten Versuchsaufbauten und Versuchsdurchführungen erarbeitet. Die Planungen sind bereits soweit abgeschlossen, dass mit dem Bau des Windkanals und der Sedimentationskammer begonnen werden kann. Ferner wurden die erforderlichen Testaerosole ausgewählt und in der jeweiligen Partikelgrößenverteilung beschafft.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeiten werden mit dem Bau der Versuchseinrichtungen fortgesetzt. Dann sollen die Vorversuche durchgeführt und ausgewertet werden, so dass im Anschluss daran die realskaligen Versuche im Reinraum durchgeführt und ausgewertet werden können.

Die Ergebnisse werden in einem Abschlussbericht dokumentiert und in einer Abschlusspräsentation vorgestellt.

Themenbereich 07

Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Subject area 07

Projects of general importance to radiation protection

Thema

Abschätzung des Krebsrisikos nach akuten Gammastrahlenexpositionen durch Analysen der Daten für die Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki

Subject

Cancer risk estimation after acute exposure to gamma rays by analysis of data for the atomic bomb survivors of Hiroshima and Nagasaki

Kennzeichen

St.Sch. 3607S04551

Beginn

01.10.2007

Ende

30.09.2010

Fördermittel

EUR 291.842,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Helmholtz-Zentrum München

Projektleitung

Dr. P. Jacob

Fachbetreuung BfS

Dr. B. Grosche / AG-SG 1.4

verantwortlich für den Text

Dr. J. Chr. Kaiser

1. ZIELSETZUNG

In diesem Vorhaben soll mit den aktuellen Daten der Radiation Effects Research Foundation (RERF) das Krebsrisiko für Atombomben-Überlebende abgeschätzt werden nach akuter Exposition mit Gamma- und Neutronenstrahlung im Dosisbereich von einigen hundert Millisievert und darunter.

2. EINZELZIELSETZUNG

Ausgehend vom gegenwärtigen Stand der Analyse der Daten für die Atombomben-Überlebenden sollen drei wesentliche Fragen untersucht werden:

2.1 VERBESSERUNG DER NEUTRONENGEWICHTUNG IN DER DOSISMODELLIERUNG UND IMPLIKATIONEN FÜR DIE RISIKOSCHÄTZUNG

Zunächst wird die Energieabhängigkeit bei der Bestimmung der relativen biologischen Wirksamkeit berücksichtigt. Daraus ergeben sich vom Explosionsort abhängige Wichtungsfaktoren. Dann wird der Einfluss dieser Faktoren auf die Risikoschätzung untersucht.

2.2 VERBESSERTE ABSCHÄTZUNG DER UNSICHERHEITEN VON KREBSRISIKEN IM NIEDRIG-DOSISBEREICH

Die Unsicherheitsbestimmung der Risikoschätzer der RERF hängt von der Auswahl der gruppierten Dosis-klassen ab. Diese Schwäche soll mit einem nicht-parametrischen Verfahren vermieden werden.

2.3 ABSCHÄTZUNG DER IMPLIKATIONEN STRAHLENBIOLOGISCHER EFFEKTE

Die Erreichung dieses Einzelziels erfolgt in vier Schritten. Zunächst erfolgt eine Gruppierung von Krebsarten im Hinblick auf ihre Verwendung in biologisch-basierten Risikomodellen. Diese Modelle sollen explizit strahlenbiologische Effekte wie z. B. genomische Instabilität berücksichtigen. Mit Hilfe von statistischen Auswahlverfahren sollen dann bevorzugte Modelle der Krebsentstehung identifiziert werden. Für diese Modelle werden die Auswirkungen auf das Krebsrisiko dargestellt.

3. METHODIK

Zur Gewichtung der Neutronendosen in der Gesamtdosis wird ein Verfahren entwickelt, das das Energiespektrum der Neutronen als Funktion des Abstandes vom Explosionsort der Bombe betrachtet. Unter Berücksichtigung der Energieabhängigkeit der relativen biologischen Wirksamkeit (RBW) ergeben sich dann ortsabhängige Wichtungsfaktoren. Über diese Abhängigkeit können Einzelpersonen oder Personengruppen individuelle Faktoren zugeordnet werden, die auch in den Risikomodellen berücksichtigt werden.

Mit einem geeigneten Fitprogramm werden dann Parameterschätzer und deren Unsicherheiten für empirische und biologisch-basierte Risikomodelle bestimmt. (Einzelziele 2.1 und 2.3). Für bevorzugte Modelle wer-

den die absoluten und relativen Strahlenrisiken in Abhängigkeit von Dosis, Geschlecht, Alter bei Exposition, Zeit nach Exposition und erreichtem Alter berechnet und diskutiert. Für das Einzelziel 2.2 wird zudem das Verfahren zur Bestimmung der Unsicherheitsintervalle von Risikoschätzern verbessert.

Eine Technik zur Gewichtung von Risikomodellen mit Hilfe von Likelihood-Ratio-Tests für verknüpfte Modelle und mit der Anwendung von Informationskriterien (z. B. nach Akaike) für unverknüpfte wird entwickelt. Nach der Beurteilung der Qualität eines Fits wird mit der Bayes'schen Methode die Mittelung von Risikoschätzern aus geeigneten Modellen durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

Das in der Programmiersprache C++ entwickelte Softwarepaket MECAN wurde an die im Projekt vorgegebenen Aufgaben angepasst. Es ermöglicht die Parameterschätzung mit empirischen und biologisch-basierten Risikomodellen für die Inzidenz- und die Mortalitätsdatensätze der RERF. Die Schätzung von Parametern, der Vergleich von beobachteten und erwarteten Fällen, die Berechnung von zusätzlichen Risiken und Bestimmung von Unsicherheitsbereichen erfolgt in einem Programmlauf. Neutronenwichtungsfaktoren werden im Programm wie Schätzparameter behandelt. Weil das RERF öffentlich verfügbare Datensätze nur in gruppierter Form anbietet, erfolgt die Optimierung der Modellparameter zunächst mit Poisson-Regression. Zur Bestimmung der Unsicherheiten für die Strahlenrisiken wurde im Programm die Methode des Latin Hypercube Sampling (LHS) implementiert. Die Ergänzung des Programms mit weiteren Risikomodellen ist über eine Schnittstelle, die ein abstraktes Risikomodell darstellt, in definierter Form sehr einfach möglich.

Im Jahr 2009 stand die Untersuchung des Strahlenrisikos für Einzelorgane mit empirischen Modellen und Krebsentstehungsmodellen im Mittelpunkt. Der Schwerpunkt lag auf der Untersuchung der Inzidenz von Brustkrebs, weil dort der Anteil der mit Strahlung assoziierten Fälle mit knapp unter 20% relativ hoch ist. Man kann deshalb vermuten, dass zur Beschreibung des Strahlenrisikos mehrere Modellparameter nötig und gut bestimmbar sind. Allerdings sind die zusammengefassten Inzidenzdaten (Datei Issinc07.csv) nach der Dosis im Darm stratifiziert. Die anderen Organdosen werden als gewichtete Mittelwerte in den Dosisintervallen der Darmdosis angegeben. Während die Abweichung der Darmdosis von der Organdosis für innen liegende Organe vernachlässigt werden kann, ist sie für die Brustdosis maximal. Die RERF hat jedoch die Lieferung einer Datei mit einer korrekten Stratifizierung nach der Brustdosis zugesagt. Allerdings konnte selbst mit der Brustdosis aus der Datei Issinc07.csv das vom RERF veröffentlichte zusätzliche relative Risiko (ERR) von 0,87 pro Gray mit einer Abweichung von ca. 3% reproduziert werden.

Nach Begutachtung der ersten Version des Forschungsplans wurde empfohlen, diesen in zwei Teile zu teilen. Der erste Teil behandelt im Wesentlichen die Einzelziele 2.1 und 2.2, der zweite Teil das Einzelziel 2.3.

5. ERGEBNISSE

Für das Brustkrebsrisiko wurden über 30 verschiedene Risikomodelle betrachtet. Die Modelle können in drei Gruppen eingeteilt werden: 1) empirische Modelle, 2) hybride Modelle mit empirischem Ansatz für das Hintergrundrisiko und einem biologisch-basiertem Ansatz für das Strahlenrisiko und 3) vollständig biologisch-basierte Modelle mit altersabhängigen Übergangsraten zwischen verschiedenen Zellzuständen.

Mit Hilfe der im Projekt entwickelten Methode zur Modellauswahl wurde eine gewichtete Rangfolge von Risikomodellen erstellt. Das Gewicht eines Modells wurde aus seiner Akaike-Likelihood berechnet. Zur Berechnung des gewichteten Gesamtrisikos werden nur solche Modelle hinzugezogen, deren Gewicht im direkten Vergleich mit dem besten Modell mindestens 5% betrug. Insgesamt wurden so sechs Modelle ausgewählt. Das beste Modell kommt aus der Gruppe der vollständig biologisch-basierten Modelle und hat ein Gewicht von über 60%. Der alterabhängige Verlauf der Zellübergangsraten dieses Modells wird deutlich bestimmt durch Menarche und Menopause. Im gewichteten Gesamtrisiko werden sowohl die Unsicherheiten aus den einzelnen Modellen als auch die Unsicherheiten zwischen den Modellen berücksichtigt. Während das von der RERF veröffentlichte Risiko unabhängig vom Alter bei Exposition abhängt, steigt nun das gewichtete Gesamtrisiko an.

Eine systematische Untersuchung des Einflusses der Neutronenwichtungsfaktoren auf das Strahlenrisiko für einzelne Organe steht noch aus. Für diese Untersuchung muss ein Datensatz beim RERF erzeugt werden, in dem die Orientierung der exponierten Individuen ausgewiesen ist. Ob das vorliegende Datenmaterial ausreicht, wird z. Zt. geprüft.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für die zwei getrennten Forschungspläne liegen Gutachten vor. Unter Berücksichtigung der dort gegebenen Empfehlungen werden die Pläne überarbeitet und erneut zur Begutachtung eingesandt. Ein Besuch von Dr. Kaiser am RERF ist weiterhin vorgesehen, auf Grund der langen Bearbeitungszeit im RERF kann aber nicht abgeschätzt werden, wann dieser Besuch stattfinden kann. Während des Besuches sollen die Einzelziele 2.1-2.3 bearbeitet werden.

Die Rechnungen zum Brustkrebsrisiko sollen mit dem vom RERF zur Verfügung zu stellenden Datensatz mit der korrekten Brustdosis wiederholt werden. Eine Veröffentlichung dieser Ergebnisse in einem Fachartikel ist vorgesehen.

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 St.Sch. 3608S07005	Beginn 09.06.2008	Ende 30.06.2011	Fördermittel EUR 215.626,-
Forschungs- / Auftragnehmer DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin			
Projektleitung V. Seibicke	Fachbetreuung BfS R. Motzkus / AG-SG 2.5		verantwortlich für den Text R. Motzkus, 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,
- 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:

Die **Normen der Reihe DIN 25401** „Begriffe der Kerntechnik“ (als terminologische Grundlage für die in Abschnitt 2 genannten Projekte) wird überarbeitet und mit der internationalen Terminologie abgeglichen. Dazu wurde als Grundlage ISO 921:1997 „Kernenergie - Begriffe“ zusammen mit dem neuen ISO-Projekt ISO / CD 12749-1 „Nuclear energy - Vocabulary - Part 1: Radiation protection“ und dem IEV herangezogen, die bei der Erstausgabe der Reihe DIN 25401 nicht berücksichtigt wurden. Dies sichert den internationalen Anschluss.

DIN 25422 wird überarbeitet. Die Überarbeitung gestaltet sich schwierig, da weitere Fachleute herangezogen werden mussten. Da es Überschneidungen mit **DIN 25425-3** gibt wurde eine gemeinsame Arbeitsgruppe gegründet, die vor allem die Festlegung der Aktivitätsklassen beschleunigen soll. Ein Manuskript zum Entwurf ist für das erste Quartal 2010 zu erwarten.

DIN 25423 wird durch Übernahme der ISO 2889 als **DIN ISO 2889** überarbeitet. Ein Entwurf dazu wurde bereits veröffentlicht, die endgültige Fertigstellung ist für Ende 2010 geplant.

DIN 25425 wird komplett überarbeitet, zum Teil 5 wurde ein Manuskript zum Norm-Entwurf verabschiedet. Der Entwurf wird mit Ausgabe 2010-04 erscheinen und auch im DIN-Norm-Entwurfs-Portal (www.din.de) veröffentlicht werden.

DIN 25457 wird überarbeitet, es wurde beschlossen, dabei die Teile 1 und 2 zusammenzulegen um Doppel festlegungen und Widersprüche zu vermeiden. Das Gleiche wurde für die Teile 4 und 5 beschlossen. Für Anfang 2010 ist die Veröffentlichung der beiden Entwürfe geplant. Für den Teil 1 kann sich die Veröffentlichung eventuell verzögern, da ISO 11929, auf die Teil 1 in weiten Teilen Bezug nimmt, neu erschienen ist und weitere Anpassungen erfordert.

Zu **DIN 25465** wurde beschlossen, dass Überarbeitungsbedarf besteht. Da die Norm auf der KTA (Kerntechnischer Ausschuss)-Regel 1504 (wortgleiche Übernahme) beruht und diese KTA bereits in aktuellerer Fassung vorliegt, wurde beschlossen, die DIN 25465 mit Verweis auf die KTA zurückzuziehen. Dies wurde der Öffentlichkeit angekündigt. Da es innerhalb der Einspruchsfrist zu dieser Vorgehensweise keine Einwände gab, wurde die Zurückziehung Anfang Dezember 2009 umgesetzt.

Des Weiteren wurden folgende Aktionen durchgeführt:

- Weiterführung der 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,
- Übernahme der Spiegelung von ISO/TC 85/SC 5 und SC 6, da auch hier die zu bearbeitenden Projekte betroffen sein können,
- Nachhaltung der in Ausschüssen vergeben Aufgaben,
- Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung der weiteren Sitzungen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die fertigen Entwürfe werden mit einer Stellungnahmefrist veröffentlicht. Nach Ablauf der Frist (voraussichtlich 2. und 3. Quartal 2010) werden die Einsprecher zu einer Einspruchsverhandlung eingeladen, auf welcher

der jeweilige Arbeitsausschuss die Stellungnahmen mit den Einsprechern diskutiert und im Konsensverfahren ein überarbeitetes Manuskript für die Veröffentlichung als Norm erstellt. Dieses wird nach Verabschiedung durch den Ausschuss als DIN-Norm veröffentlicht.

Nach derzeitigem Kenntnisstand werden alle Projekte fristgerecht abgeschlossen werden.

Bei der Überarbeitung der oben genannten Normen wurden allerdings weitere Normen identifiziert, die überprüft werden müssen, da in den oben genannten Projekten auf sie verwiesen wird oder sie als Grundlage verwendet werden. Um die Überprüfung der Normen durchführen zu können, wird Anfang 2010 die Reaktivierung weiterer Ausschüsse durchgeführt. Die Arbeitsprogramme dieser Ausschüsse sehen vor, die Normen auf ihre Aktualität (entsprechen sie dem Stand der Technik) und Anwendbarkeit zu überprüfen, um die Anziehung (entweder durch direkten Verweis oder als Grundlage) in denen in Abschnitt 2 genannten Projekten sicher zu stellen. Sollte hier erhöhter Überarbeitungsbedarf festgestellt werden, so kann dies zu einer Fristüberschreitung, bzw. Bitte um Verlängerung des Vorhabens führen. Eine belastbare Aussage dazu ist aber erst Ende des 2. Quartals 2010 möglich.

Thema Gesundheitsökonomische Betrachtung zu Radonsanierungsmaßnahmen			
Subject <i>Health economic evaluation of radon mitigation strategies</i>			
Kennzeichen St.Sch. 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 F. Haucke

1. ZIELSETZUNG

Radon ist ein natürlich vorkommendes radioaktives Edelgas, das sich in Innenräumen anreichern und zu einer Erhöhung des Lungenkrebsrisikos führen kann. Nach epidemiologischen Schätzungen sterben in Deutschland jährlich ca. 1.900 Personen an radonbedingtem Lungenkrebs.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, anhand einer entscheidungstheoretischen Modellierung erstmals für Deutschland die Effekte verschiedener Interventionsstrategien zur Minderung der Radonbelastung in bestehenden Wohnhäusern sowie Neubauten zu analysieren und deren Kosten-Effektivität zu berechnen. 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 sind im Einzelnen die folgenden Aufgaben zu bearbeiten:

2.1 ERMITTLUNG DES IST-ZUSTANDS DER RADONBELASTUNG IN DEUTSCHLAND

Die Ermittlung des Ist-Zustands beinhaltet vor allem die Bestimmung der regionalen Verteilung der Radonbelastung in Deutschland, die Identifikation von Risikogebieten sowie darauf aufbauend die Bestimmung des Screening- und Sanierungsbedarfs an bestehenden Gebäuden und Neubauten.

2.2 BESTANDSAUFNAHME DER KOSTEN BEI RADONSANIERUNG BZW. RADONREDUZIERUNG

Die Kosten des Radonscreenings potenziell belasteter Gebäude setzen sich aus dem in 2.1. ermittelten Messbedarf für die Identifikation belasteter Gebäude über einem definierten Eingriffsniveau (Anschaffung und Auswertung der benötigten Radontests) sowie dem Aufwand für die Sanierung beziehungsweise den radonsicheren Neubau zusammen.

2.3 BESTANDSAUFNAHME GESUNDHEITS- BZW. KRANKHEITSKOSTEN BEI LUNGENKREBS

Die Erhebung der Kosten der Lungenkrebserkrankung nimmt eine zentrale Bedeutung in der Kosten-Effektivitäts-Analyse der Radonsanierung ein, da auf Grund einer reduzierten Lungenkrebsinzidenz durch Interventionsmaßnahmen auch eine Reduktion auf Seite der Krankheitskosten zu erwarten ist. Dies umfasst den Ressourcenverbrauch, welcher unmittelbar aus der Behandlung der Erkrankung resultiert, also ambulante und stationäre ärztliche Leistungen, Medikamente sowie Heil- und Hilfsmittel.

2.4 BESTANDSAUFNAHME SONSTIGER ZU BERÜCKSICHTIGENDER KOSTEN

Zusätzlich zu den direkten Krankheitskosten können auch direkte nichtmedizinische Kosten eine Rolle spielen, hierzu gehören Fahrtkosten der Patienten oder Kompensationen für Patienten- und Angehörigenzeit. Darüber hinaus sind indirekte Kosten zu berücksichtigen, die den auf die Gegenwart abdiskontierten, aus Arbeits- und Erwerbsunfähigkeit sowie vorzeitigem Tod resultierenden Wertschöpfungsverlust abbilden.

2.5 DURCHFÜHRUNG EINER KOSTEN-EFFEKTIVITÄTSANALYSE VON RADONSANIERUNGS-MAßNAHMEN

Im Rahmen der Kosten-Effektivitäts-Analyse (KEA) der Radonsanierung von Wohngebäuden in Deutschland sollen anhand verschiedener Szenarien spezifische Strategien mit unterschiedlich ausgeprägten regulativen Eingriffen zur Senkung der Radonexposition in der Bevölkerung bei unterschiedlichen Eingriffsniveaus (EN) untersucht werden.

3. METHODIK

Die Kosten-Effektivitäts-Analyse (KEA) der Radonsanierung von Wohngebäuden in Deutschland wird auf Basis eines entscheidungstheoretischen Modells durchgeführt, wobei Eingriffsniveaus von 100, 200 und 400 Bq/m³ Innenraumluft sowie verschiedene regulatorische Regimes bezüglich der Umsetzung von Richtlinien und verbindlichen gesetzlichen Regelungen untersucht werden. Die Modellierung wird als Entscheidungsbaummodell in Einklang mit nationalen und internationalen Guidelines durchgeführt, wie den Empfehlungen des Instituts für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen (IQWiG) und den Richtlinien von Philips. Der Aufbau des Modells orientiert sich an existierenden internationalen Modellierungen von Radoninterventionen unter Berücksichtigung der offiziellen Empfehlungen zu Radonscreening und -sanierung des Bundesamts für Strahlenschutz. Die Programmierung erfolgt in einer Spreadsheet-Anwendung. Die unter 2.1-2.4 beschriebenen Elemente werden in der verfügbaren Literatur erhoben und gehen als Parameter in das Modell ein. Dabei werden alle Kostenkomponenten aus gesamtgesellschaftlicher Perspektive berechnet. Der im Modell betrachtete Zeitraum umfasst die gesamte Lebensdauer der untersuchten Interventionen. Auf Grund der Länge des Beobachtungszeitraums werden Kosten und Effekte der Radonsanierung angemessen diskontiert. Alle Modellberechnungen werden auf verschiedenen regionalen Ebenen durchgeführt: Gesamtdeutschland, Bundesland, Landkreis sowie unterschiedlich definierter Hochrisikogebiete. Zur Validierung der Ergebnisse werden uni- und multivariate deterministische und probabilistische Sensitivitätsanalysen (SA) durchgeführt. Probabilistische SA beruhen auf Monte-Carlo-Simulationen mit 10.000 Wiederholungen, wobei für jeden mit Unsicherheit behafteten Parameter statistische Verteilungen zu spezifizieren sind. 95%-Konfidenzintervalle (KI) für die Kosten-Effektivität der einzelnen Szenarien und Eingriffsniveaus wurden dabei über die Werte der 2,5- und 97,5-Perzentile geschätzt. Als weiteres Element der Analyse werden zur Entscheidungsunterstützung zwei kürzlich entwickelte Instrumente aus dem Bereich der gesundheitsökonomischen Evaluation (Cost effectiveness acceptability curve, cost effectiveness frontier) auf die konkrete Fragestellung übertragen und für ein breites Spektrum unterschiedlicher Zahlungsbereitschaften optimale Strategien abgeleitet.

4. DURCHFÜHRUNG

Zur Berechnung der Kosten-Effektivität kommt folgendes Schema zur Anwendung:

Kosten-Effektivität = Nettokosten / Netto-Outcome

Die Nettokosten der Intervention ergeben sich dabei aus den Kosten für das Radonscreening der Wohngebäude (Definition von Radonverdachtsgebieten, Anschaffung und Auswertung von Radontests unter Berücksichtigung von Testspezifität und -sensitivität) zuzüglich der Aufwendungen für die Sanierung von Gebäuden, deren Belastung über dem zuvor definierten Eingriffsniveau liegt, abzüglich der durch verhinderte Lungenkrebsfälle verminderten Kosten, die durch die Behandlung der Erkrankung und etwaige Produktionsausfälle entstehen. Als Outcomeparameter der Untersuchung gehen die Kosten je vermiedenem Lungenkrebs beziehungsweise je gewonnenem Lebensjahr in die Analyse ein. Gewonnene Lebensjahre werden auch um Qualitätsaspekte adjustiert und als generisches Outcomemaß (qualitätsadjustiertes Lebensjahr: QALY) dargestellt, um eine Vergleichbarkeit von Radoninterventionen mit anderen gesundheitsbezogenen Maßnahmen zu gewährleisten. Der Interventionseffekt in Form verminderter Lungenkrebserkrankungen oder gewonnener (qualitätsadjustierter) Lebensjahre wird als Produkt aus Expositionssenkung durch bauliche Maßnahmen für die betroffene Population und Risikomaß berechnet, welches den Zusammenhang zwischen Exposition und

Erkrankung beschreibt. Für diese Untersuchung wird das Berechnungsschema auch um Daten zur Compliance mit Empfehlungen beziehungsweise gesetzlichen Vorschriften ergänzt, welche bislang in Kosten-Effektivitäts-Studien überwiegend vernachlässigt wurden.

Insgesamt werden 3 Szenarien mit Hilfe des Modells untersucht und deren inkrementelles Kosten-Effektivitäts-Verhältnis (ICER) verglichen mit dem Base-Case (keine Grenzwerte und / oder Richtlinien bezüglich der Radonbelastung in Wohnräumen; Radonverteilung und radonbedingte Lungenkrebsinzidenz entsprechen der aktuellen Situation in Deutschland) berechnet:

- **Szenario 1 (S1): universelles Radonscreening und obligatorische Sanierung**

In S1 sind alle Wohngebäude verpflichtend zu testen und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, um die Exposition bis unter das zuvor definierte Eingriffsniveau zu verringern. Die Wirkung der ersten Maßnahme muss durch konfirmatorische Tests ex post ermittelt werden. Bei unzureichender Senkung der Radonbelastung sind entsprechende Nachbesserungen durchzuführen.

- **Szenario 2 (S2): universelles Radonscreening und fakultative Sanierung**

Für alle Wohngebäude ist die Radonbelastung verpflichtend auszuweisen. Bei Überschreiten des Eingriffsniveaus entscheiden die Betroffenen nach entsprechenden Informationen eigenverantwortlich über bauliche Sanierungen. Ein Nachweis über die Wirkung der Sanierung muss nicht erbracht werden.

- **Szenario 3 (S3): fakultatives Radonscreening und fakultative Sanierung**

Szenario 3 entspricht der Interventionsstrategie mit den wenigsten regulativen Eingriffen. Alle Haushalte bestimmen selbst über Kauf und Durchführung von Radontests sowie die Sanierung der Wohngebäude. Es werden lediglich Empfehlungen für ein Eingriffsniveau, verbunden mit Informationen bezüglich gesundheitlicher Risiken und möglicher Interventionen gegeben. Bei Überschreiten dieser Empfehlung können Maßnahmen ergriffen werden. Ein Nachweis über das Ergebnis ist nicht zu erbringen.

5. ERGEBNISSE

Es wurden zunächst die benötigten Parameter in der Literatur erhoben und das entscheidungstheoretische Modell für die Berechnungen der Kosten-Effektivität der Radonsanierung an bestehenden Gebäuden programmiert. Erste Auswertungen auf der gesamtdeutschen Ebene zeigen, dass die höchste inkrementelle Kosten-Effektivität im Vergleich zum Status Quo (Base Case) bei Einführung eines universellen Screeningprogramms und der obligatorischen Sanierung aller Gebäude mit Belastungen $> 100 \text{ Bq/m}^3$ Innenraumluft (Szenario 1) erreicht werden kann und dass dieses Szenario für eine maximale Zahlungsbereitschaft von weniger als 23.000 € je gewonnenem Lebensjahr, ($\sim 27.000 \text{ € je QALY}$, $\sim 308.000 \text{ € je vermiedenen Lungenkrebs}$) die optimale Strategie darstellt. Andere Strategien, die vor allem auf eigenverantwortliches Testen und Sanieren setzen sowie höhere Zielwerte, haben einen weitaus geringeren Einfluss auf die Lungenkrebsinzidenz und weisen eine deutlich höhere inkrementelle Kosteneffektivitätsrelation auf, da auch bei hohen Radonkonzentrationen überwiegend keine Interventionsmaßnahmen durchgeführt werden. Erste Sensitivitätsanalysen zeigen, dass der überwiegende Anteil der Unsicherheit auf das relative Risiko der Radonexposition sowie die verwendeten Diskontfaktoren zurückzuführen ist und insbesondere die beträchtliche Unsicherheit bezüglich der Sanierungskosten die Kosten-Effektivität der Intervention nur geringfügig beeinflussen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im weiteren Verlauf des Vorhabens wird das bestehende entscheidungstheoretische Modell weiter verfeinert und insbesondere dahingehend erweitert, dass auch regionalspezifische Auswertungen auf der Ebene einzelner Bundesländer und Landkreise sowie spezifischer Hochrisikogebiete möglich sind. Zu diesem Zweck wird auch ein geografisches Informationssystem in die Analyse eingebunden. Darüber hinaus wird das Modell zur Berechnung der Kosten-Effektivität des radonsicheren Bauens angepasst. Einerseits sind hier geringere Sanierungskosten je Gebäudeeinheit zu erwarten. Andererseits kann die zu erwartende Belastung a priori kaum bestimmt werden, so dass ein Großteil der sanierten Gebäude auch ohne Intervention nur niedrige Innenraumkonzentrationen aufweisen würde.

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 St.Sch. 3609S30013	Beginn 01.08.2009	Ende 30.04.2010	Fördermittel EUR 108.924,-
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 KiKK (Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken)-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 Leukämie im Kindesalter 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 Erkrankung gesucht werden, um so den möglichen Einfluss von Umwelttoxinen 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. Strahlenexposition, zur Entstehung der Krankheit führt.

Ein wesentlicher Schritt im Rahmen der Erforschung des Zusammenhangs zwischen Umwelttoxinen und der Entstehung von Leukämie im Kindesalter ist die Untersuchung der genetischen Veränderungen, die an der Entstehung der Erkrankung beteiligt sind. Ziel des Vorhabens ist die Analyse von Genpolymorphismen, speziell Einzelnukleotid-Polymorphismen (SNP, Single Nucleotide Polymorphism, Varianten von einzelnen Basenpaaren der DNA (Desoxyribonucleinsäure)) an einer Untergruppe von Patienten mit Leukämie im Kindesalter, die den mit 25% häufigsten Subtyp der akuten lymphatischen Leukämie (ALL), den TEL-AML1-positiven Subtyp aufweisen. Durch Vergleich mit TEL-AML1-negativen Patienten soll geklärt werden, welche der analysierten Varianten spezifisch sind für den TEL-AML1-positiven Subtyp und welche ggf. die Erkrankung insgesamt kennzeichnen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Folgende Ziele werden in dem Projekt verfolgt:

2.1 AUFSTOCKUNG DES PATIENTENKOLLEKTIVS DURCH PATIENTEN AUS NATIONALEN UND INTERNATIONALEN STUDIENGRUPPEN

Das bisherige Patientenkollektiv wird durch Rekrutierung weiterer Patienten auf nationaler und internationaler Ebene und eine entsprechende Anzahl von Kontrollpersonen aufgestockt. Ziel ist es, die bisher gefundenen Ergebnisse anhand zusätzlicher Patienten zu untermauern.

2.2 UNTERSUCHUNG VON TEL-AML1-NEGATIVEN LEUKÄMIEN

Die Untersuchungen werden auf TEL-AML1-negative Leukämien des Kindes- und Jugendalters ausgedehnt, um zu klären, welche der gefundenen SNPs für den TEL-AML1-positiven Subtyp spezifisch sind bzw. welche SNPs gegebenenfalls auch bei anderen Subtypen der ALL vorkommen.

2.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse sollen im Hinblick auf den derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand zur Entstehung der Leukämie im Kindesalter 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 TEL-AML1-positive Patientenkollektiv wurde mittels unabhängiger DNA-Patientenproben aus nationalen und internationalen Studiengruppen und entsprechend gematchter 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 ca. 200 hauptsächlichen SNPs, die in den bisherigen Analysen identifiziert worden waren, mittels SNPlex-Technologie genotypisiert.

4. DURCHFÜHRUNG

Die zur Aufstockung des Patientenkollektivs verwendeten Proben stammen allesamt von TEL-AML1-positiven ALL-Patienten und rekrutieren sich aus

- A) dem deutschen COALL-Patientenkollektiv vom Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf (n=208) und
- B) über die italienische AIEOP-Studiengruppe zur Behandlung von Leukämien im Kindes- und Jugendalter (n=298; vom Ospedale San Gerardo, Monza). Die Proben der TEL-AML1-negativen ALL-Gruppe (n=333) entstammen der ALL-BFM-Studiengruppe in Kiel. Alle Patientenproben und die entsprechenden Kontrollproben wurden, wie unter 3. aufgeführt, analysiert.

5. ERGEBNISSE

Insgesamt wurden Proben von weiteren 506 Patienten mit TEL-AML1-positiver ALL, 333 Patienten mit TEL-AML1-negativer ALL sowie entsprechende Kontrollproben untersucht. Die Daten werden zurzeit ausgewertet.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Auswertung der Daten wird abgeschlossen. Die Ergebnisse werden im Hinblick darauf bewertet, ob sich die bisher gefundenen Hinweise auf genetische Varianten als Risikofaktoren bestätigen lassen. Außerdem wird geprüft, ob es genetische Varianten gibt, die allgemein für ALL im Kindesalter typisch sind. Weiterhin erfolgt eine Bewertung der Ergebnisse im Hinblick auf ihre Bedeutung hinsichtlich eines Einflusses von Umweltfaktoren auf häufig bei einer ALL beobachtete genetische Veränderungen mit potenziell leukämogener Auswirkung.

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Subject area 08
Non-ionising radiation

Thema			
Auswirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf die Entstehung und den Verlauf von neurodegenerativen Erkrankungen im experimentellen Modell			
Subject			
<i>Effects of low frequency electromagnetic fields on the induction and progress of neurodegenerative diseases in an animal model</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3608S03008	Beginn 01.10.2008	Ende 30.11.2011	Fördermittel EUR 426.327,-
Forschungs- / Auftragnehmer Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität, Institut für Pathobiochemie, Mainz			
Projektleitung Dr. A. M. Clement, Prof. Dr. C. 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 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 zusammenlagern. A β -Plaques sind bei familiären wie auch bei sporadischen Alzheimer Fällen ein wesentliches neuropathologische Merkmal. Es ist allerdings unklar, wie und an welcher Stelle die A β -Fragmente in den Pathomechanismus der Krankheit einwirken. Das APP23-Mausmodell der Alzheimer Demenz entstand 1997 durch die transgene Expression einer Doppelmutante der APP-Form APP(751). Die Tiere entwickeln ab einem Alter von sechs Monaten fortschreitend Plaques, um die herum aktivierte Gliazellen auftreten. Zudem sind die Fortsätze der Nervenzellen 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 der 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 Motoneuronen zeigen. Die toxische Wirkung mutanter SOD1 beruht auf einer neu erworbenen, bisher unbekannten 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 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 von 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 von 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

In der bisherigen Laufzeit des Projekts wurden die Expositionsmodule erstellt. Die Konstruktion der Scheinexpositionsmodule stellte sich dabei zunächst als schwierig heraus, da die bloße Umlenkung der Stromkabel nicht ausreichte, um die Felder zu kompensieren. Eine zusätzliche Verdrillung der Kabel war notwendig, so dass die Felder der Scheinexposition im Vergleich zu den Feldern der Expositionsmodule (1 mT) nun um mindestens 500fach geringer (unter 2 μ T) sind. Außerdem wurden zusätzliche Abschirmungen im Tierhaltungsraum angebracht, um die aus den Expositionsmodulen ausgehenden Streufelder zu minimieren und den Einfluß dieser Felder auf die Scheinexpositionsmodule so gering wie möglich zu halten.

Parallel zum Bau der Expositionsmodule wurde die Mauszucht erweitert. Inzwischen konnten ca. 150 Tiere in das Experiment eingebracht werden. Die Tiere werden einmal pro Woche gewogen und auf Verhaltensauffälligkeiten untersucht.

5. ERGEBNISSE

Das Ziel des Projekts ist die Untersuchung, ob niederfrequente EMF den Verlauf von altersabhängigen neurodegenerativen Erkrankungen, wie der Alzheimer Demenz und der ALS, beeinflussen. Die zu untersuchenden Mausmodelle dieser Krankheiten entwickeln funktionelle und pathologische Veränderungen erst im Alter von mehreren Monaten bis zu 1,5 Jahren. Auf Grund der bisher kurzen Projektlaufzeit liegen deshalb noch keine statistisch abgesicherten Daten vor, die einen möglichen Einfluss der Felder belegen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Nachdem die Expositionsmodule vollständig aufgebaut und funktionsfähig sind, wird die Zucht der Tiere nochmals auf insgesamt 600 erweitert werden. In nächster Zukunft werden die ersten Tiere erfahrungsgemäß an ALS erkranken. Die erkrankten Tiere werden dann für biochemische und histologische Untersuchungen vorbereitet. Die APP-transgenen Tiere werden sobald sie das Alter von neun Monaten erreicht haben in Verhaltensstudien auf ihr Lernvermögen untersucht.

Thema Auswirkungen wiederholter 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 St.Sch. 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 A. Heinrich Dr. J. Rauschenberg	

1. ZIELSETZUNG

Ziel ist es, die Auswirkungen statischer Magnetfelder und kontrollierter Bewegungen in statischen Magnetfeldgradienten auf die kognitive Leistungsfähigkeit von 40 gesunden Probanden (20 Männer und 20 Frauen) 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. Unterschiede zwischen den Testergebnissen sollen eventuelle Auswirkungen der jeweiligen Feldstärke zeigen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUSWIRKUNGEN AUF DIE KOGNITION

Untersucht werden die Teilbereiche Aufmerksamkeit, Reaktionszeit, verschiedene Gedächtnisformen, Auge-Hand-Koordination, visuelle Diskriminierung, visuelle Kontrastsensitivität und visuelle Nachverfolgung.

2.2 WOHLBEFINDEN

Es werden den Probanden vor, während und nach den Untersuchungen verschiedene Fragebögen zur Befindlichkeit vorgelegt. Außerdem müssen die Probanden nach der Untersuchung körperliche Beschwerden auflisten, die während der Untersuchung aufgetreten sind, und sie sollen versuchen, die Magnetfeldstärke zu erraten, in der sie sich befunden haben. Zusätzlich wird untersucht, ob die Probanden während der Untersuchung an erhöhtem Stress leiden. Dazu werden Speichel- und Blutproben zur Messung von Stresshormonen genommen, sowie die Herzratenvariabilität während der Untersuchung gemessen.

3. METHODIK

3.1 EXPOSITIONSMESSUNGEN

Zur Erfassung der Einflussgrößen wurde ein Messgerät entwickelt, mit dem gleichzeitig die lokale Magnetfeldstärke und die sich während einer Bewegung im Magnetfeldgradienten zeitlich ändernde Magnetfeldstärke erfasst werden können. Diese Sonde wird am Kopf des Probanden getragen.

3.2 KONTROLLIERTE BEWEGUNG IM STREUFELD

Um den Einfluss von Bewegung im Streufeld des MRT zu untersuchen, wurde eine Motorkonstruktion entwickelt, mit der die Patientenliege des jeweiligen MRT durch den Bereich der höchsten Magnetfeldänderung hin und her bewegt werden kann. In Pilot-Untersuchungen am MRT der höchsten Feldstärke (7 T) wurde ermittelt, dass die gewählte Maximalgeschwindigkeit von 9 cm/s durch die Testpersonen toleriert wird.

3.3 UMGEBUNGSBEDINGUNGEN DER MR-SYSTEME

Anhand von Licht- und Geräuschemessungen konnten gleiche Umgebungsbedingungen an allen MR-Systemen geschaffen werden. Zur Realisierung der Kontrolluntersuchung wurden die Fassade und das Gradientenrohr eines nicht mehr verwendeten MR-Systems aufgebaut. Die Aufnahme der Geräuschkulisse an einem MR-System im Betrieb und das Abspielen am 0 T-System realisieren gleiche Umgebungsbedingungen.

3.4 PRÄSENTATIONSMETHODE

Zur Präsentation der neuropsychologischen Tests wurde ein MR-kompatibler Monitor entwickelt, der auf der Liege befestigt wird. Die Probanden sehen den Monitor über eine Spiegelkonstruktion. Ein speziell adaptierter Trackball (Steuerkugel) wurde entwickelt, mit dem die Probanden im Tomographen einen Zeiger bewegen und antworten können.

3.5 PROBANDENREKRUTIERUNG

Gesunde Probanden werden über Aushänge auf die Studie aufmerksam gemacht. Nach einer ersten Kontaktaufnahme erfolgt eine Abfrage der Ausschlusskriterien:

- Allgemeine MRT-Ausschlusskriterien wie Metallteile im Körper etc.,
- MRT-Erfahrung,
- psychische oder physische Erkrankungen,
- Rot-Grün-Blindheit,
- schlechtes Sehvermögen bei nicht vorhandenen Kontaktlinsen,
- IQ unter 80.

In einer ärztlichen und neuropsychologischen Untersuchung werden diese Kriterien vorab überprüft.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 VORTESTS

Am Zentralinstitut für Seelische Gesundheit in Mannheim werden die Probanden vor der Teilnahme an der Studie genau aufgeklärt und untersucht. Mittels des Hamburg-Wechsler-Intelligenztests für Erwachsene wird der IQ bestimmt. Mittels einer computerisierten Testbatterie (CANTAB [Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery]) wird die Integrität verschiedener neuropsychologischer Funktionsgebiete (motorische Koordination, sofortiges und zeitverzögertes Gedächtnis für Mustererkennung, räumliches Wiedererkennen, räumliches Handlungsfeld, visuelle Informationsverarbeitung) getestet. Die Probanden werden per Fragebögen über eventuelle somatoforme Störungen und ihre Bereitschaft an Übersinnliches zu glauben befragt. Zum Schluss üben die Probanden im Rahmen der Voruntersuchung die Aufgaben, die später im Scanner durchgeführt werden sollen, um einen zu starken Lerneffekt über die einzelnen Untersuchungen in den Scannern zu vermeiden.

4.2 UNTERSUCHUNGEN IM STATISCHEN MAGNETFELD

Die Untersuchungen im Magnetfeld erfolgen am DKFZ. Die Probanden werden im Abstand von je einer Woche mit jeweils einer der folgenden Feldstärken exponiert: 0 T, 1,5 T, 3 T und 7 T. Es erfolgt eine „Verblindung“, d. h. die Probanden werden mit Augenbinde an die MR-Systeme geführt, um zu verhindern, dass sie die aktuelle Feldstärke kennen. Nach Fragebögen zur Befindlichkeit, Blutabnahme, Anlegen des EKG und Umziehen in einem separaten Raum werden die Probanden in das Zentrum des Tomographen platziert, wobei sie die Magnetfeldmesssonde tragen. Nachdem sie still liegend alle Aufgaben absolviert haben, erfolgt eine Pause, in der die Probanden wieder Fragebögen beantworten. Danach erfolgt eine zweite Serie von Parallelversionen aller Aufgaben unter Bewegung der Patientenliege. Als Abschluss erfolgt eine Befragung über das Befinden, die gespürten Auswirkungen der Untersuchung und die Einschätzung des Magnetfelds.

5. ERGEBNISSE

Die Untersuchungen der ersten sechs Probanden haben 2009 begonnen, sind vollständig abgeschlossen und weitere Probanden werden im Moment untersucht. Auf Grund der geringen Stichprobengröße können zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Aussagen zu statistisch signifikanten Werten getroffen werden.

5.1 VORUNTERSUCHUNG

Bisher mussten einige Probanden auf Grund von Zahnspangen oder anderen Implantaten ausgeschlossen werden. Außerdem wurden Probanden mit MR-Erfahrung ausgeschlossen, da so erhofft wird, eine konsequentere „Verblindung“ der Probanden zu erreichen.

5.2 WOHLBEFINDEN

Im Allgemeinen scheint es keine starken Auswirkungen auf das Wohlbefinden von Probanden zu geben, soweit das derzeit bewertet werden kann. Teilweise wird von leichtem Schwindel beim Einfahren in die Röhre berichtet. Die Lage des Befindens vor der Untersuchung hängt stark vom Termin ab. Beim ersten Untersuchungstermin sind die Probanden verhältnismäßig angespannt, während sie bei den nachfolgenden Terminen sehr ruhig sind.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Suche nach neuen Probanden erfolgt fortwährend über Aushänge. Bedingt durch vorausschauende Terminkoordination und einkalkuliertem Drop-out von Versuchspersonen muss ein regelmäßiger Zulauf von neuen Probanden gewährleistet sein. Die Rekrutierung von neuen Probanden, die Voruntersuchung von potenziellen Probanden am ZI und die eigentlichen Untersuchungen im DKFZ sollen auch weiterhin parallel erfolgen, um eine unterbrechungsfreie Durchführung zu gewährleisten.

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 of current UV index</i>			
Kennzeichen St.Sch. 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

Die gesundheitsschädigenden Wirkungen von solarer Ultraviolettstrahlung (UV) aber auch die Beschreibung biopositiver Effekte in der wissenschaftlichen Literatur führen zu widersprüchlichen Empfehlungen in Bezug auf eine gesundheitsfördernde UV-Exposition. Um die gesundheitsschädigenden wie auch biopositiven Aspekte von UV-Strahlung mit einer quantitativen Erfassung der realen UV-Exposition im mitteleuropäischen Raum korrelieren zu können bzw. den Zusammenhang zwischen UV-Exposition und biopositiven Wirkungen und gesundheitlichen Risiken mit Hilfe quantitativer Aussagen zur individuellen UV-Exposition untermauern zu können, stellt die Erfassung der individuellen UV-Exposition in Abhängigkeit von Lebensstil und aktuellem UV-Index eine unverzichtbare Grundvoraussetzung dar.

Ziel des Vorhabens ist es, mit Hilfe von UV-Personendosimetern die individuelle UV-Exposition unter verschiedenen Randbedingungen und in verschiedenen Bevölkerungsgruppen (Kinder, Schwangere, ältere Menschen, Patienten, etc.) zu erfassen und dies mit dem jeweiligen Lebensstil und dem aktuellen UV-Index als weitere Parameter zu korrelieren. Hiermit soll eine Aussage darüber ermöglicht werden, wie viel UV-Strahlung tatsächlich für die Synthese von ausreichenden Mengen an aktivem Vitamin D3 zur Verfügung steht.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 LITERATURSTUDIE

Zu Beginn des Projekts wird eine ausführliche Literaturstudie erarbeitet, die als Grundlage für den detaillierten Versuchsaufbau dienen wird. Diese Studie umfasst folgende Themen:

- Derzeit verfügbare UV-Dosimeter: Analyse ihrer technischen Aspekte, Erfassung von UV-A- und / oder UV-B-Strahlung, ihrer Einsatzmöglichkeiten sowie eine Bewertung in Bezug auf Messgenauigkeit, Reproduzierbarkeit und Datenanalyse;
- Messmethoden zur Bestimmung des UV-Index; Betonung hier auf Methoden zur Bestimmung des UV-Index in der unmittelbaren Nähe der exponierten Person;
- Beeinflussung des UV-Index (Tageszeit, Jahreszeit, Bewölkungsgrad, Höhenlage etc.).

2.2 AUSWAHL GEEIGNETER PROBANDEN

Die Auswahl geeigneter Probanden erfolgt unter Berücksichtigung des Geschlechts, des Alters und des Hauttyps (Hauttypen I - IV). Kinder, Schwangere und ältere Menschen sollen ebenfalls in statistisch signifikanter Anzahl mit in die Studie integriert werden. Solariengänger werden in die Studie nicht aufgenommen. Der Besuch eines Solariums ist für Probanden ausgeschlossen. Die Probandenzahl wird so gewählt, dass eine aussagekräftige Statistik erstellt werden kann.

2.3 FRAGEBÖGEN

Mit Hilfe eines zu erstellenden Fragebogens werden vor Beginn der Expositionsstudien bei den ausgewählten Probanden das Alter, das Geschlecht, der Gesundheitszustand, der Hauttyp und die Pigmentation der Haut ermittelt. Zur vollständigen Erfassung der individuellen Gewohnheiten werden weitere Aspekte wie Ernäh-

rungsgewohnheiten, Sonnenexposition, Rauchen, Trinken, Freizeitverhalten etc. abgefragt. Weitere in diesem Zusammenhang sinnvolle zusätzliche Informationen werden mit erhoben.

Ein zweiter Fragebogen wird entworfen, mit Hilfe dessen der jeweilige Proband den Tagesablauf so genau wie möglich skizziert kann (Probandentagebuch). Einzutragen ist hier auch der Bekleidungsstatus zur Erfassung der exponierten Hautareale. Das Verhältnis bestrahlte / unbestrahlte Haut soll daraus ermittelt werden können. In regelmäßigen Abständen ist zusätzlich die Pigmentierung der Haut zu erfassen und in den Fragebogen einzutragen.

2.4 EXPOSITIONSDESIGN

Die Erfassung der individuellen UV-Exposition erfolgt mittels eines gemäß Literaturstudie entsprechend geeigneten UV-Dosimeters. Dabei wird soweit möglich der Anteil an eingestrahlt UV-B abgeschätzt bzw. erfasst. Gleichzeitig wird der auf den Aufenthaltsort des jeweiligen Probanden bezogene UV-Index mit Angabe der meteorologischen Daten und des Aufenthaltsortes (Angabe des Höhengrades) sowie der Einfallwinkel der Sonneneinstrahlung pro Tag erfasst.

3. METHODIK

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

1. ein Fragebogen zur Erfassung der relevanten persönlichen Grunddaten (Alter, Geschlecht, Hauttyp, Größe, Gewicht, Body-Mass-Index (BMI), Gesundheitszustand, Schwangerschaft (bei Frauen), etwaige Ausschlusskriterien, beruflich- / soziale Strukturen, Alkohol- / Tabakkonsum, Freizeitgewohnheiten),
2. ein zweiter Fragebogen zur Erfassung des täglichen Außenaufenthaltes eines jeden Probanden hinsichtlich seiner solaren UV-Exposition, seiner Aktivität und der getroffenen individuellen Sonnenschutzmaßnahmen (Probandentagebuch),
3. ein dritter Fragebogen zur Selbsteinschätzung des persönlichen UV-Hauttyps durch die Probanden vor Beginn der Beobachtungsphase.

Die Bestimmung der individuellen UV-Exposition erfolgte mit Hilfe eines Spektralradiometers, mit dem die erythemwirksame Bestrahlungsstärke der einfallenden Solarstrahlung im definierten Aufenthaltsraum der Kampagne (Raum Berlin) erfasst werden konnte. Die Bestimmung und Bewertung der individuellen Exposition wurde aus den angegebenen Expositionszeiten und den zugeordneten Daten der eingefallenen erythemwirksamen UV-Strahlung berechnet. Aufenthalte von Probanden außerhalb Berlins wurden gesondert protokolliert und mit den am jeweiligen Aufenthaltsort für die UV-Exposition relevanten Daten (UV-Index, Bewölkung, Höhenlage) bewertet.

Auf den vorgesehenen Einsatz von elektronischen UV-Dosimetern wurde dabei in der Messkampagne Frühjahr / Sommer 2009 verzichtet, da zu diesem Zeitpunkt keine elektronischen UV-Personendosimeter verfügbar waren, die praktikabel und einfach handhabbar sowie spektral und geometrisch korrekt waren, so dass systematische Messfehler in signifikanter Größe absehbar waren. Ihre Nutzung ist daher gemäß Rücksprache mit dem Hersteller nach Nachbesserung für die zweite Messkampagne im Frühjahr / Sommer 2010 vorgesehen.

Während des Zeitraumes Frühjahr / Sommer 2009 wurden folgende Probandenkollektive in die Untersuchungen eingeschlossen:

- 62 Kinder im Kindergarten (drei Gruppen mit Kindern im Alter von 2 - 6 Jahren),
- 45 Schüler in der Schule (25 Schüler im Alter 6 - 7 Jahre und 20 Schüler im Alter von 9 - 10 Jahren),
- 82 Erwachsene differenziert nach Alter, Geschlecht, Aktivität, BMI.

In einer weiteren Gruppe von 37 Erwachsenen unterschiedlichen Hauttyps, BMI sowie Aktivitätsmusters wurden im Rhythmus von 14 Tagen Messungen der Hautfarbe (Spectropen, Fa. Dr. Lange, Dortmund) zur Erfassung der intermittierenden, saisonalen Hautbräunung an der Stirn und an der Außenseite des Unterarms vorgenommen. Zusätzlich wurde die saisonal bedingte Vitamin-D3-Synthese durch Messung der 25(OH)D3-Serumkonzentrationen vor Beginn und am Ende des Beobachtungszeitraumes bestimmt. Kontrollparameter waren dabei die Konzentrationen von Kalzium und Phosphat (anorganisch) im Blut.

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

Aus den Angaben der Probanden und den synchron erfassten Stundenwerten der erythemwirksamen solaren UV-Einstrahlung sowie des täglichen UV-Indexes wurden die potenzielle und die zu erwartende individuelle tägliche sowie kumulative (monatliche und saisonale) UV-Exposition bestimmt. Die potenzielle UV-Exposition ergab sich dabei aus der Aufenthaltsdauer im gegebenen Strahlungsfeld der Sonne bei Annahme fehlender Schutzfaktoren, während die zu erwartende UV-Exposition Verminderungen der UV-Hautbestrahlung durch Bewegungen (Positionswechsel) im gegebenen Strahlungsfeld, das Aufsuchen von Schatten und individuelle Schutzmaßnahmen (Kleidung, Sonnenschutzmittel) berücksichtigte.

Die Probanden wurden gemäß Aktivitätsprofil in 5 Aktivitätsklassen und 10 Klassen bezüglich des individuellen Nutzungsgrades der angebotenen UV-Einstrahlung eingeteilt.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Literaturstudie wurde 2009 erstellt. Des Weiteren wurden die unter (3) entwickelten Probandenfragebögen und Probandentagebücher in der Messkampagne 2009 eingesetzt. In die Untersuchungen wurden die unter (3) definierten Probandenkollektive einbezogen. Der Erfassungszeitraum bezog sich dabei auf die Monate Mai bis September 2009.

Zur Bewertung der bestimmten individuellen UV-Expositionen wurden biologische UV-Wirkungen wie zwischenzeitlich erlittene Sonnenbrände, die intermittierende Hautbräunung sowie saisonale Änderungen der Vitamin-D3-Serumkonzentration registriert.

Die im Jahre 2009 begonnenen Aktivitäten werden in einer Messkampagne im Frühjahr / Sommer 2010 zur Erweiterung der Datenbasis fortgesetzt.

5. ERGEBNISSE

5.1 UV-EINSTRALUNG IM UNTERSUCHUNGSGEBIET

Die Tagessummen der erythemwirksamen UV-Einstrahlung der Sonne variierten im Untersuchungszeitraum zwischen etwa 3,0 und 16,5 MED (1 MED = 250 J m^{-2} , Minimale Erythemdosis gemäß DIN 5050) und zeigten den regional zu erwartenden Jahresgang, während die Beträge des UV-Index am Mittag zwischen 0,5 und 7,0 sowie die Bestrahlungszeiten zum Erreichen der MED am Mittag zwischen etwa 25 Minuten und zwei Stunden schwankten. Für Strahlenschutzmaßnahmen bedeutsam ist dabei, dass etwa 30% der Tagessumme erythemwirksamer UV-Einstrahlung zwischen 11.00 und 13.00 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, während Außenaufenthalte vor 9.00 Uhr WOZ und nach 15 Uhr WOZ weniger kritisch sind.

5.2 UV-EXPOSITION DER PROBANDEN

Die potenziellen kumulativen (saisonal aufsummierten) Dosen erythemwirksamer Solarstrahlung variierten zwischen den Monaten Mai und September abhängig vom Außenaufenthalt der Probanden zwischen etwa 100 und 475 MED, während sich die erwarteten, individuellen Kumulativdosen durch individuelle Schutzmaßnahmen (Anwendung von Sonnenschutzmitteln, Aufsuchen von Schatten, Kleidung und geometrisch bedingte Einschränkungen (Positionswechsel im Strahlungsfeld) auf Beträge zwischen etwa 10 und 100 MED beschränkten. Die pro Zeiteinheit gegebenen Einzeldosen waren dabei jedoch infolge sich zeitlich ändernder Expositionsmuster auch bei einzelnen Probanden unterschiedlich, so dass sich die Kumulativdosen im Untersuchungszeitraum aus unterschiedlichen Zuwachsraten zusammensetzten. Auf Grund dieser individuellen und zeitlichen Variabilität erwies sich die Klassifizierung der Probanden innerhalb definierter Aktivitätsklassen als unzureichend. Als Alternative wurde daher eine Klassifizierung gemäß Nutzungsgrad der einfallenden solaren UV-Strahlung vorgeschlagen. Auf Grund der teilweise großen potenziellen Einzel- wie Kumulativdosen erythemwirksamer UV-Einstrahlung zeigte sich eine Erfordernis zur Dosisbegrenzung durch geeignete Schutzmaßnahmen in allen der 10 definierten Nutzungsklassen mit Ausnahme der Klasse 1. Somit empfiehlt sich die Definition differenzierter Sonnenschutzmaßnahmen entsprechend Nutzungsklasse und UV-Index. Infolge von Abschattungen während des Außenaufenthaltes, durch Kleidung und Sonnenschutzmittel lagen die erwarteten täglichen Einzeldosen bei $\leq 1 \text{ MED}$.

5.3 BIOLOGISCHE EFFEKTE DER UV-EXPOSITIONEN AUF DIE PROBANDEN

Trotz der teilweise großen potenziellen täglichen Einzeldosen erythemwirksamer UV-Einstrahlung wurden von den Probanden weder das Auftreten von UV-Erythemen berichtet noch während der Inspektionen beobachtet. Für dieses unerwartete Ergebnis sind die gegenüber den potenziellen Einzeldosen vergleichsweise niedrig ausgefallenen, erwarteten täglichen Einzeldosen mit Beträgen ≤ 1 MED verantwortlich wie auch die frühjährlich einsetzende Adaptation der Haut an das höhere Strahlungsniveau. Da die erwarteten täglichen Einzeldosen auch im Sommer im Bereich ≤ 1 MED verblieben, stagnierte die saisonale Pigmentierung der Haut im weiteren Zeitverlauf trotz großer saisonaler Kumulativdosen. Bei der Mehrzahl der Probanden zeigte sich eine saisonale Erhöhung der 25(OH)D3-Konzentration im Blut, die jedoch in der Mehrzahl der Fälle auf Grund zwar häufiger, aber niedrig dosierter UV-Einzelexpositionen unter 30 ng/ml verblieb.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für den Zeitraum Frühjahr / Sommer 2010 ist eine weitere Messkampagne geplant, in der in analoger Vorgehensweise neben einer Erwachsenenengruppe auch eine Gruppe von gesundheitlich nicht eingeschränkten Senioren im Alter von 65 - 80 Jahren in einem Seniorenheim sowie eine Gruppe Jugendlicher im Alter von 10 - 19 Jahren eingeschlossen werden sollen.

Zusätzlich zu der Erfassung der UV-Expositionen über Fragebögen und zentraler Messung der solaren UV-Einstrahlung sollen hierbei elektronische UV-Dosimeter gemäß Plan eingesetzt werden (vgl. Punkte 2.4 und 3).

Thema Laiengerechte Kommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten im Bereich EMF			
Subject <i>Laymen adequate communication of scientific uncertainties in the field of EMF</i>			
Kennzeichen St.Sch. 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 ist, 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 (NF / HF EMF) zu erarbeiten.

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

Dabei ist 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 erfolgt 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 Beschreibungsformaten 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 NF/HF EMF analysiert. Erfolgsfaktoren zur Vermittlung wissenschaftlicher Unsicherheiten aus Erfahrungen in anderen Themenfeldern wurden 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 von wissenschaftlichen Unsicherheiten, der zweite die Nennung / Nichtnennung von Begründungen.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorgehen gliedert 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 dienen 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 NF / HF EMF 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 (Befragung und Hearing) beleuchtet.

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

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

5. ERGEBNISSE

Die wichtigsten Ergebnisse sind:

- Zur Kommunikation von Unsicherheiten bezüglich der Risikoabschätzung im Bereich der elektromagnetischen Felder ist bislang wenig bekannt; die vorhandene Evidenz ist zum Teil widersprüchlich.
- Erfahrungswissen von Experten und die Ergebnisse der evidenzbasierten Forschung zur Kommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten stimmen nicht überein.
- Die befragten Experten befürworten mehrheitlich wissenschaftliche Unsicherheiten zu kommunizieren. Für die Akzeptanz von Informationen zu wissenschaftlichen Unsicherheiten sehen sie die Glaubwürdigkeit des Senders und das Vertrauen in seine Aussagen als entscheidend an.
- 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 in Abhängigkeit davon, ob es um die Existenz eines Risikos, dessen Größe oder den Risikoschutz geht.

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

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.

Zur Wirkung von Erklärungen:

- Im Zusammenhang mit Information über Unsicherheit bezüglich der Existenz eines Risiko reduzieren

Erklärungen die wahrgenommene Eindeutigkeit der Information.

- Im Zusammenhang mit Information über Unsicherheit bezüglich des Risikoschutzes verringern Erklärungen die Textverständlichkeit.

Zur Interaktion von Erklärungen und Informationen über Unsicherheit zeigt sich:

- 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 Cacciopo (1986) erklären. Ausführlich wird dies im Abschlussbericht erfolgen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Derzeit wird an der Erstellung des Abschlussberichtes gearbeitet. Das Vorhaben kann wie vorgesehen umgesetzt und abgeschlossen werden.

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 St.Sch. 360704504	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 1.1	verantwortlich für den Text Prof. Dr. P.G. Layer	

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Projekts ist es, mögliche DNA (Desoxyribonucleinsäure)- oder Chromosomen-schädigende Wirkungen der für Mobilfunksysteme genutzten hochfrequenten elektromagnetischen Felder im Rahmen einer verblindeten Studie zu untersuchen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Fibroblastenkulturen in niedriger Passage von adulten und juvenilen Spendern werden mit gepulsten GSM (global system mobile communication)-1800 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-Werten von 0,2, 1 und 2 W/kg, sowie Scheinbefeldung und Positivkontrolle).

2.3 UNTERSUCHTE ENDPUNKTE

Folgende Endpunkte werden untersucht:

- DNA-Strangbrüche mit dem Comet-Assay,
- Induktion von Mikrokernen,
- numerische Chromosomenaberrationen,
- oxidative DNA-Schäden,
- Apoptose.

2.4 AUSWERTUNG

Die Auswertung erfolgt mit verblindeten Präparaten, jeweils in einem Labor mit vorhandener Expertise, die Herstellung der stabilen Präparate und deren Codierung erfolgen örtlich und personell getrennt. Die Statistik wird durch IMBEI unter Prof. Blettner durchgeführt.

3. METHODIK

3.1 COMET-ASSAY

Der Comet-Assay (CoA) wird in der alkalischen Version eingesetzt, um Einzel- und Doppelstrangbrüche sowie abasische bzw. alkalilabile Stellen nachzuweisen. Als Positivkontrolle dient γ -Strahlung einer Cs-137-Quelle oder 4-Nitrochinolin-1-oxid (4NQO).

3.2 MIKROKERN-TEST (MN)

Der Test wird mit der Zytokineseblock-Technik unter Verwendung von Cytochalasin B (CB) durchgeführt, um durch die Auswertung binukleärer Zellen eine hohe Spezifität und Sensitivität zu erhalten. Es wird neben 15 h Befeldung auch 72 h befeldet, um sicherzustellen, dass sich die Befeldung über alle Phasen des Zellzyklus erstreckt. Als Positivkontrolle dient die γ -Strahlung einer Cs-137-Quelle oder die Chemikalie Mitomycin C. Die Ergebnisse werden per Zentromermarkierung mit CREST-Antiserum ausgewertet.

3.3 NUMERISCHE CHROMOSOMENABERRATIONEN (CA)

Um aneugenen Störungen nachzugehen, wird in Ergänzung zur CREST-Analytik bei Giemsa-gefärbten Metaphasespreitungen die Chromosomenzahl mikroskopisch bestimmt. Als Positivkontrolle dienen die Spindelgifte Colchicin bzw. Colcemid.

3.4 OXIDATIVE DNA-SCHÄDEN

In Anlehnung an die REFLEX-Studie wird 8oxo-Guanin in der DNA unter Verwendung eines monoklonalen Antikörpers durchflusszytometrisch nachgewiesen. Da die Erfahrung gezeigt hat, dass käufliche Antikörper gegen 8oxo-Guanin oft mangelhaft sind, wird parallel der Comet-Assay mit Fpg (spezielles DNA-Reparaturprotein)-Inkubation genutzt, um Fpg-sensitive Schäden als Maß für oxidative DNA-Schäden nachzuweisen.

3.5 APOPTOSE

Nachweis des programmierten Zelltods als Folge der Befeldung erfolgt mit Hilfe des TUNEL-Assays.

3.6 CODIERUNG DER PROBEN

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

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PROJEKTPARTNER

Die Durchführung des Projekts erfolgt durch sechs beteiligte Expertengruppen an fünf verschiedenen Orten (s. Tabelle). Die Koordination liegt bei Prof. Dr. P. Layer von der Technischen Universität Darmstadt.

Tabelle 1:
Koordination & Unterauftragnehmer

Prof. Dr. Paul Layer, Koordination	Technische Universität Darmstadt, Entwicklungsbiologie & Neurogenetik im FB Biologie
Prof. Dr. M. Blettner	Institut für medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI), Fachbereich Medizin, Universität Mainz
Dr. R. Greinert, Dr. B. Volkmer	Dermatologisches Zentrum Buxtehude (DZB), Abteilung Molekulare Zellbiologie am Elbeklinikum Buxtehude
Prof. Dr. N. Kuster	ITIS Foundation, Zürich, Schweiz
Prof. Dr. D. Pollet	Hochschule Darmstadt (HDA), Fachbereich Chemie- und Biotechnologie, Labor für Zellbiologie
Dr. P. Waldmann	Arbeitskreis molekulare Mechanismen umweltbedingter Genotoxizität, INCOS BOTÉ, GmbH (AMMUG)

Der Projektverlauf ist gegenüber der Planung auf Grund technischer Probleme an der Befeldungsanlage, aber auch durch das langsame Anwachsen der Fibroblasten verzögert.

5. ERGEBNISSE

Im Berichtszeitraum wurden die umfangreichen Tests zur Ermittlung von DNA-Schäden fortgesetzt.

Erfolgreich durchgeführt und ausgewertet wurden die alkalischen Comet-Assays, sowie die COMET-Assays mit FPG-Verdau zum speziellen Nachweis oxidativer DNA- Schäden für 10 Probanden.

Einflüsse auf den gerichteten Zelltod wurden in Form von TUNEL-Apoptoseassays ebenfalls für 10 Probanden fertiggestellt.

Des Weiteren wurden die Mikrokerntests mit CREST-Analytik für die Unterscheidung klastogener und aneugener Effekte für 10 Probanden abgeschlossen.

Für 9 Probanden wurden die besonders aufwändige Untersuchung der numerischen chromosomalen Aberrationen durchgeführt.

Alle ermittelten Rohdaten wurden an das IMBEI unter Frau Prof. Dr. Blettner weitergeleitet. Aussagen zu den Ergebnissen können erst nach Abschluss der Untersuchungen, Entblindung der Proben und der statistischen Auswertung erfolgen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

In den folgenden Arbeitspaketen werden die Untersuchungen fortgesetzt.

Thema Weiterentwicklung der EMF-Literaturdatenbank			
Subject <i>Advancement of the EMF literature database</i>			
Kennzeichen St.Sch. 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

Ziel des Vorhabens ist es,

- das EMF (elektromagnetische Felder)-Portal mit weiteren Strukturen zu ergänzen, um die komplette Breite der Literatur aus dem Fachgebiet elektromagnetischer Umweltverträglichkeit darzustellen,
- die neuen Strukturen durch Extraktion repräsentativer Publikationen zum Thema zu validieren,
- eine spezifische Zusammenfassung zu einigen wichtigen Themen zu erstellen und
- die Nutzerfreundlichkeit des gesamten Informationssystems zu optimieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 PRÄSENTATION ZUSÄTZLICHER THEMENGEBIETE

Zu den bereits existierenden inhaltlichen Publikationsabbildungen (Basisdaten) werden folgende neue Themenbereiche erschlossen:

- Wirkungen elektromagnetischer Felder auf elektronische Implantate;
- Berichte, Empfehlungen und Richtlinien nationaler und internationaler Expertengremien und Behörden;
- Risikokommunikation und Risikowahrnehmung im Bereich elektromagnetischer Felder.

2.2 THEMENSPEZIFISCHE ZUSAMMENFASSUNGEN

Die bereits im Detail vorliegenden Extraktionen einzelner aufbereiteter Studien (>2.000), insbesondere experimenteller medizinisch-biologischer und epidemiologischer Studien, werden im Mobilfunkbereich bei thematisch abgrenzbaren Themengebieten zusammengefasst und in einen übergeordneten Kontext eingebettet. Neu hinzukommende Studien werden dafür ebenfalls ergänzend extrahiert und eingearbeitet.

2.3 DATENBANK DER IM ALLTAG AUFTRETENDEN FELDQUELLEN

- Die geschaffene Struktur zur benutzerfreundlichen Darstellung der im Alltag auftretenden Feldquellen wird erweitert;
- Aktuelle Messwerte elektromagnetischer Strahlung der Feldquellen unter Berücksichtigung neuer technischer Entwicklungen sowohl im Hoch- als auch im Niederfrequenzbereich werden erfasst.

2.4 DARSTELLUNG DER STUDIEN ZU IMPLANTATEN

Die Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf elektronische Implantate und Körperhilfen stehen zunehmend im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses und neu zu schaffender Richtlinien. Innerhalb des EMF-Portals wird eine neue Struktur entwickelt, die es erlaubt, Studien aus diesem Bereich abzubilden.

2.5 VERBESSERUNG DER SUCHMÖGLICHKEITEN

Die Suchalgorithmen werden optimiert und an die neuen Inhalte angepasst.

Der Nutzer wird in die Lage versetzt, das Ergebnis seiner Suchanfrage weiter einzugrenzen (z. B. Publikationstyp, Endpunkt etc.); übergeordnete Studientypen (z. B. Zusammenfassungen, Reviews und Richtlinien / Gesetze) können im Suchresultat hervorgehoben werden.

2.6 GLOSSAR

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

3. METHODIK

Zur Erreichung der Einzelziele wurden folgende Methoden verwendet:

- Datenbank der Feldquellen: Erarbeitung und Entwicklung einer geeigneten Struktur zur Darstellung der im Alltag auftretenden Expositionsquellen,
- Erstellung neuer themenspezifischer Zusammenfassungen im Mobilfunkbereich,
- Neuentwicklung der Suche,
- Glossar: Aufnahme relevanter neuer Einträge.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 DATENBANK DER IM ALLTAG AUFTRETENDEN FELDKQUELLEN

Mit Hilfe des Frequenznutzungsplans der Bundesnetzagentur und anderer nationaler und internationaler Informationsquellen wurde eine hierarchische Datenbankstruktur für den Hochfrequenzbereich und den Niederfrequenzbereich entwickelt. Nach erfolgter Erstellung eines Dateneingabeprogramms standen die Sammlung der Daten und eine erste Validierung der Ergebnisse im Vordergrund.

Hierzu wurden umfangreiche Recherchen in diversen Publikationen und Internetquellen durchgeführt. Die Feldquellen im Hoch- und Niederfrequenzbereich wurden in die erarbeitete Struktur übernommen und deren Zuordnung und Darstellung auf der Webseite des EMF-Portals optimiert.

4.2 THEMENSPEZIFISCHE ZUSAMMENFASSUNGEN

Es wurde eine übergeordnete Struktur für die experimentellen Mobilfunk-relevanten Arbeiten (n = 575) geschaffen; zu übergeordneten Themenbereichen wurden neue, kurze informative Zusammenfassungen verfasst.

Auf Grund vermehrter Nachfrage wurde es ebenfalls als relevant betrachtet, dem Nutzer auch die epidemiologischen Studien zum Thema Mobilfunk auf eine ähnliche Weise zugänglich zu machen. Daher wurden die epidemiologischen Studien in einem gesonderten Tool mit ähnlichen interaktiven Graphiken entwickelt und zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich wurde für den Endpunkt „Hirntumor“ bei den epidemiologischen Studien Hintergrundwissen in Form von Fragen und Antworten bereitgestellt.

Nach den bereits in der Vergangenheit bearbeiteten Schwerpunkten „Genotoxizität“ aus dem Bereich „DNA“ (Desoxyribonucleinsäure), „Wirkungen auf die Haut“ aus dem Bereich „Gesundheit“ und den Themen „Wirkungen auf kognitive, psychomotorische oder Gedächtnis-Funktionen“ und „Schlaf“ aus dem Bereich „Gehirn“ wurde zusätzliches Hintergrundwissen zum Thema „Hirnaktivität, EEG (Elektroenzephalografie), evozierte Potenziale“, ebenfalls aus dem Bereich „Gehirn“, hinzugefügt.

4.3 VERBESSERUNG DER SUCHMÖGLICHKEITEN

Im Berichtsjahr wurde eine Internetschnittstelle für die Suche erstellt. Mit Hilfe von Web 2.0-Techniken kann der Nutzer bereits während der Erstellung seiner Suchabfragen die Begriffe auf Plausibilität überprüfen (z. B. können in das Feld „Autoren“ nur Autoren eingegeben werden, die auch tatsächlich in der Datenbank vorkommen).

4.4 GLOSSAR

Bei der täglichen Recherchearbeit wurden noch fehlende Fachbegriffe gesammelt, neu aufgenommen und bearbeitet. Als Neuerung wurden Querverweise bei der Anzeige eines Glossareintrags angezeigt. Das bedeutet, dass der Nutzer beim Aufruf eines Glossareintrags nicht nur den dazugehörigen Oberbegriff erfährt, sondern auch alle untergeordneten Einträge angezeigt werden, die sich auf derselben Ebene befinden.

Auf Grund der Neuimplementierung des Zweiges „Störbeeinflussung von Implantaten“ lag der Schwerpunkt bei der Neuaufnahme von Glossareinträgen in diesem Sachgebiet.

5. ERGEBNISSE

Die den themenspezifischen Zusammenfassungen zu Grunde liegenden Kuchendiagramme sind unter www.emf-portal.de/overview_mb.php für die medizinisch / biologischen Publikationen und unter www.emf-portal.de/overview_epi.php für die epidemiologischen Studien zu öffnen. Für die Themenbereiche Genotoxizität, Wirkungen auf die Haut, Wirkungen auf kognitive, psychomotorische oder Gedächtnis-Funktionen und Schlaf sowie zum Thema Hirnaktivität, EEG und evozierte Potenziale stehen derzeit begleitende Texte mit Hintergrundinformationen zur Verfügung.

Die recherchierten Feldquellen wurden zur Präsentation innerhalb des EMF-Portals mit Daten gefüllt, die Veröffentlichung ist für das Jahr 2010 vorgesehen.

Die neue Suche steht den Nutzern des EMF-Portals zur Verfügung. Zusätzlich zu den herkömmlichen Suchmöglichkeiten (Autor, Journal, Jahr, Keywords) kann der Nutzer die Suche mit verschiedenen weiteren Parametern eingrenzen. Implementiert sind derzeit Einschränkungen nach Frequenzbereich und Themenkomplex (Profil), mit denen die Suche zunächst getestet werden soll. Da die Suche modular aufgebaut ist, können auf einfache Weise beliebige zusätzliche Suchparameter integriert werden.

Im Glossar wurden ca. 150 Einträge neu aufgenommen, erklärt und übersetzt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen im Jahr 2010 hauptsächlich die neu erarbeiteten Informationsangebote evaluiert und verbessert werden.

Thema Gentoxische Effekte von Terahertz-Strahlung in vitro			
Subject <i>Genotoxic effects of terahertz radiation in vitro</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3607S04533	Beginn 14.09.2007	Ende 30.09.2010	Fördermittel EUR 593.081,-
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 Chr. Jastrow

1. ZIELSETZUNG

Ziel des dreijährigen Forschungsvorhabens, das zusammen mit der Toxikologie der Julius-Maximilians-Universität in Würzburg durchgeführt wird, ist eine erste Abschätzung, inwieweit Expositionen von lebenden Zellen mit THz-Strahlung gesundheitliche Risiken bezüglich möglicher DNA (Desoxyribonucleinsäure)- und / oder genomschädigender Wirkung erwarten lassen. Gerade vor dem Hintergrund der zum Teil scharf geführten Debatten über den potenziellen Einsatz von THz-Ganzkörperscannern ist auf die Relevanz dieses Vorhabens hinzuweisen, zumal kaum Studien existieren, die sich mit biologischen Wirkungen in diesem Frequenzbereich beschäftigen. Dazu werden die Auswirkungen der Exposition gut charakterisierter, humaner Hautzelllinien mit elektromagnetischen Wellen im Millimeter- und Submillimeterwellenbereich untersucht. Für die Expositionen sind insgesamt drei Frequenzen verschiedener THz-Quellen vorgesehen. Bei 106 GHz erfolgt die Exposition mittels einer Frequenzvervielfacherkaskade, für 380 GHz kommt ein Rückwärtswellenoszillator zum Einsatz und für die Expositionen bei 2,52 THz findet ein CO₂-gepumpter FIR (Fern-Infrarot)-Gaslaser Verwendung.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 KONSTRUKTION DER EXPOSITIONSEINRICHTUNG

Um die verwendeten Zellproben während der Exposition in einem physiologisch günstigen Bereich zu halten und somit Fremdeffekte ausschließen zu können, werden die Expositionen in einem Brutschrank bei 36°C und einer 5%-igen CO₂-Atmosphäre durchgeführt. Die Umgebungstemperatur wird bewusst um 1°C abgesenkt, da mit einer Erwärmung der Proben während des Energieeintrags gerechnet werden muss. Diese Erwärmung wurde experimentell bestimmt und liegt innerhalb des physiologischen Bereiches. Für die Durchführung der Experimente müssen geeignete Einkoppelfenster, eine elektrisch neutrale Halterung und eine feldabsorbierende Auskleidung zur Vermeidung von Resonanzen im Inkubator vorgesehen werden.

2.2 CHARAKTERISIERUNG UND EINSTELLUNG DER THZ-QUELLEN

Für eine möglichst gleichmäßige Feldverteilung innerhalb der Expositionszone von 1,2 cm Durchmesser wird die Strahltaile der aus den Feldquellen emittierten Gaußstrahlen, abgesehen vom Rückwärtswellenoszillator, mittels Optiken auf 2 cm eingestellt. Aus praktischen Gründen ist dies bei 380 GHz nur schwer umzusetzen. Deshalb wird hier auf eine Strahlbreite von 3 cm ausgewichen, wodurch sich die Gleichmäßigkeit der Feldverteilung jedoch nur noch weiter verbessert. Zum Einstellen der Halbwertsbreite wurden die Strahlen der Quellen bei 106 GHz und 380 GHz mit einem neuen Verfahren mittels dielektrischer Faser abgetastet, da die traditionelle Knife-Edge-Methode hier zu unzuverlässigen Ergebnissen führen kann. Beim FIR-Laser findet sie jedoch nach wie vor Anwendung und liefert verlässliche Werte.

Die Absolutleistung des FIR-Lasers wird mit einem an der PTB Berlin erstmals bei 2,52 THz kalibrierten Pyrodetektor bestimmt. Für die Leistungsmessung bei 106 GHz und 380 GHz wird ein neues Verfahren zur Rückführung der Leistung auf die SI (internationales Einheitensystem)-Einheiten mittels eines Powermeters der Fa. Thomas Keating entwickelt. Die Einstellung der Leistungsdichten geschieht durch geeignete Abschwächer.

2.3 NUMERISCHE BERECHNUNG / DOSIMETRIE

Zur Ermittlung der Feldverteilung und der spezifischen Absorptionsrate während der Versuche werden numerische Simulationen bei 106 GHz mittels Finite-Differenzen-Zeitbereichsverfahren (FDTD) durchgeführt. Die Parameter der verwendeten Materialien wurden mittels THz-Zeitbereichsspektroskopie extrahiert und in die Simulationen eingepflegt. Darüber hinaus wird die Erwärmung der Zellschichten simuliert und mittels Temperaturmessungen innerhalb der Proben verifiziert.

2.4 EXPOSITION UND STATISTISCHE AUSWERTUNG

Im Rahmen des Vorhabens werden mit den humanen Keratinozyten HaCaT und den primären humanen Hautfibroblasten zwei verschiedene Zelllinien exponiert. Expositionen werden bei zwei verschiedenen Expositionszeiten von 2 Std. und 8 Std. und für verschiedene Leistungsdichten zwischen $0,1 \text{ mW/cm}^2$ und 2 mW/cm^2 durchgeführt. Potenzielle Schäden werden durch den Comet Assay und den Mikrokerntest erfasst. Um Auswirkungen unbekannter Einflüsse auf die Zelllinien ausschließen zu können, werden Scheinexpositionen durchgeführt. Außerdem werden zusätzliche unbehandelte Proben und Proben direkt nach dem Zelltransport fixiert, um Beeinflussungen außerhalb der Expositionskammer aufzuspüren. Die Wirksamkeit der Nachweismethoden wird durch mehrere verschiedene Positivkontrollen gewährleistet.

2.5 ETABLIERUNG ZELLINIEN UND VERFAHREN

Zur Etablierung der Zelllinien und Nachweisverfahren wurden an der Universität Würzburg umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Neben der Erstellung von Wachstumskurven wurden geeignete Färbungen evaluiert. Ferner wurden Methoden zur Proliferationsermittlung unter anderem in Hinblick auf Stoffkonzentrationen und Behandlungszeiten ermittelt. Als geeignet erweisen sich Cytochalasin B und die EdU (5-ethynyl-2'-deoxyuridine)-Inkorporation. Es wurden für die Positivkontrollen geeignete Substanzen ausgewählt und hinsichtlich Konzentration, Behandlungsdauer und Expressionszeit optimiert.

3. METHODIK

Für die Feldexpositionsversuche werden nur Zelllinien verwendet, die hinsichtlich der Beurteilung des Gefährdungspotentials von THz-Strahlung aller Voraussicht nach für den Menschen relevant sind. Da elektromagnetische Wellen mit Frequenzen oberhalb von 100 GHz nur in die Haut, nicht aber in den Körper eindringen können, wurden Hautzelllinien ausgesucht. Bei den Versuchen werden mögliche 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 Durchführung der Expositionen bei verschiedenen Leistungsdichten kann so im Fall eines positiven Ergebnisses eine Dosis-Wirkungsbeziehung gefunden werden. Um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu erhöhen, sollen nach einer Probereihe drei weitere, unabhängige Versuchsreihen durchgeführt werden. Die Auswertung der Versuchsreihen erfolgt mit dem U-Test, da auf Grund der begrenzten Zahl an Wiederholungsexperimenten nicht von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden kann. Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse wird durch verblindete Auswertung sichergestellt.

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 Feldexpositionen erfolgen in dem oben beschriebenen umgebauten Inkubator, der zusammen mit der gesamten Laborausstattung an den Ort der jeweiligen Feldquelle transportiert wird. Probenhandhabung und Fixierung werden unter Anleitung der Universität Würzburg durchgeführt. Im Anschluss an die Feldexposition werden die fixierten Proben zur Universität Würzburg gebracht und dort ausgewertet. Die Probereihe wurde zunächst komplett ausgewertet. Danach wurden unter den Projektpartnern nach Abstimmung mit dem BfS Modifikationen bzgl. Frequenzen und Leistungsdichten beschlossen. Mit diesen festgelegten Parametern werden in der Folge drei zeitlich unabhängige Expositionsserien durchgeführt und ausgewertet.

5. ERGEBNISSE

5.1 NUMERISCHE SIMULATIONEN / DOSIMETRIE

Die Simulationen haben gezeigt, dass eine gleichmäßige Exposition im Freistrahls ohne Probleme möglich ist. Die Energie wird fast vollständig in der Zellschicht absorbiert.

5.2 CHARAKTERISIERUNG DER THZ-QUELLEN

Die Profilschans haben gezeigt, dass die Expositionen bei 106 GHz und 380 GHz im Gaußstrahl mit 2 cm bzw. 3 cm Durchmesser und den gewünschten Leistungsdichten erfolgen können. Das Strahlprofil des FIR-Lasers ist nicht rein gaußförmig. Die Ausgangsleistung des Lasers ist niedriger als erwartet, so dass die Leistungsdichten für die Laser-Expositionen auf max. $0,5 \text{ mW/cm}^2$ reduziert wurden. Expositionen mit höheren Leistungsdichten werden nachgeholt, sofern die technische Realisierung möglich ist.

5.3 ERGEBNISSE DER EXPOSITIONSREIHEN

Die Erfahrungen, die während der Probereihe gewonnen wurden, sind in die eigentlichen Expositionsreihen eingeflossen und tragen somit erheblich zur Qualitätsverbesserung der Experimente bei. So wurden u. a. der Zelltransport verbessert, zusätzliche Positivkontrollen eingeführt und die max. Leistungsdichte reduziert, da starke Hyperthermie auftrat und von thermischen Zellschäden ausgegangen werden musste. Zusätzlich wurden für eine zuverlässigere Analyse Änderungen in der Zellhandhabung bzgl. der Proliferationsermittlung beschlossen. Die darauf folgende erste reguläre Expositionsreihe ließ eine starke Verbesserung und somit eine hohe Qualität des Zellhandlings erkennen. Belastbare Ergebnisse werden erst zum Ende des Jahres 2010 erwartet, die erste Reihe jedoch zeigte keine Auffälligkeiten bei den Proben.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Derzeit wird die zweite der drei unabhängigen Reihen durchgeführt. Im Anschluss daran wird gleich mit der dritten und letzten Reihe begonnen. Die Auswertung erfolgt weiterhin simultan, bedarf aber noch Zeit bis Ende Juli. Anfang August werden die Ergebnisse unter den Projektpartnern besprochen, eventuelle Wiederholungsexpositionen diskutiert und durchgeführt. Zum Ende der Projektlaufzeit wird das Gesamtergebnis auf einer internationalen Konferenz mit der Fachwelt diskutiert werden.

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 St.Sch. 3607S04538	Beginn 01.12.2007	Ende 30.11.2010	Fördermittel EUR 257.518,-
Forschungs- / Auftragnehmer Technische Universität Dresden, Medizinische Fakultät, Klinik und Poliklinik für Dermatologie			
Projektleitung P. Knuschke, Dr. B. Lehmann	Fachbetreuung BfS Dr. C. Baldermann / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text P. Knuschke, Dr. C. Baldermann	

1. ZIELSETZUNG

Die gesundheitsschädigenden Wirkungen von ultravioletter Strahlung (UV-Strahlung) in Bezug auf Hautkrebserkrankungen (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 durch den UV-B-Strahlenanteil in der Haut der Vitamin-D-Stoffwechsel eingeleitet. Vitamin D reguliert u. a. den Kalziumspiegel im Blut und spielt eine essentielle Rolle im Aufbau und Erhalt des Knochengewebes. Auf Grund dieser Tatsachen 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-Konzentrationen 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-Dehydrocholesterin 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 erfolgt 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 werden nicht in die Studie aufgenommen. Durch hautärztliche Untersuchungen ist sichergestellt, dass ausschließlich hautgesunde freiwillige Teilnehmer einbezogen werden, die auch keine Medikamente zu sich nehmen, die phototoxische bzw. photosensibilisierende Reaktionen auslösen können.

2.3 ERSTELLEN EINES FRAGEBOGENS

Ein Fragebogen ist zu erstellen, mit Hilfe dessen zu Beginn der Expositionsstudien bei den ausgewählten Probanden weitere Aspekte erfasst werden. Dies sind in erster Linie für das vorangegangene Jahr die typische Aufenthaltszeiten im Freien mit 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 Exposition mit natürlicher UV-Strahlung werden die experimentellen Arbeiten an sonnigen Tagen im Frühjahr vorgenommen, die bei definiertem, längeren Aufenthalt im Freien zu messbarer Vitamin-D-Erhöhung führen, während der normale Alltagsaufenthalt im Freien an diesen Tagen den erniedrigten Vitamin-D-Status nach dem Winter nur gering erhöht. Zur Exposition mit künstlicher UV-Strahlung kommen zum einen Bestrahlungsgeräte zum Einsatz, deren UV-Strahlenquellen den in der Öffentlichkeit in Solarien verwendeten entsprechen, zum anderen Strahlenquellen für solar simulierte Strahlung, die im UV-Bereich gut der mitteleuropäischen Sommersonne entspricht. Beide Strahlenquellentypen emittieren hauptsächlich UV-A-Strahlung. Der vorhandene Anteil UV-B-Strahlung leitet über die Synthese des 7-Dehydrocholesterins (Provitamin D3) in der Haut zu Prävitamin D3 den Vitamin-D-Stoffwechsel ein. Bei diesen beiden in den Untersuchungen vergleichend zum Einsatz kommenden UV-Strahlenquellentypen, unterscheidet sich das Verhältnis von UV-B- zu UV-A-Strahlung. In den Solarienstrahlern ist der UV-A-Anteil höher. In den Untersuchungen werden die biologisch wirksamen UV-Expositionen variiert, um eine optimale Expositionsdauer pro Hauttyp für eine ausreichende Vitamin-D3-Produktion zu ermitteln. Zur Ausarbeitung der Empfehlungen an die Bevölkerung bezüglich einer gesundheitlich unbedenklichen UV-Exposition werden 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 wird 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 werden über 2 Jahre hinweg Serumproben von den Probanden gesammelt. Dabei werden 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 dient der Bestimmung des 7-Dehydrocholesterin-Gehaltes (7-DHC) als Ausgangssubstanz der Vitamin-D-Bildung in der Haut. Dazu werden mit Hilfe von Stanzbiopsien Proben unbestrahlter und UV-bestrahlter Haut gewonnen. Es werden der Gehalt an 7-Dehydrocholesterin (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 sollen 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 werden.

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 soll 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 erfolgen für 40 Probanden in zwei sub-erythematösen Dosisstufen je viermal auf Gesicht und Hände sowie in zwei Dosisstufen je viermal seriell auf die gesamte Körperhaut. Die Dosierung erfolgt über ein Breitbandradiometer (Robertson-Berger). Die individuelle photobiologische UV-Exposition jedes untersuchten Probanden wird mittels Polysulfonfilm (PSF)-Personendosimeter registriert.

Für die Applikation der künstlichen UV-Strahlung wird ein Phototherapiegerät (a) mit Strahlern 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 (im UV-B-Anteil höher als UV-Strahler gemäß RTS Gruppe II). Alle UV-Expositionen werden kontrolliert mit einem aktinischen Breitbandradiometer, am Probanden appliziert. Je Strahlertyp werden drei sub-erythematöse UV-Dosisstufen untersucht. Für jede UV-Dosisstufen wird eine Gruppe von 40 freiwilligen Teilnehmern, strukturiert nach Alter, Geschlecht und Hauttyp II oder III, einbezogen. Es erfolgen je sechs serielle Bestrahlungen auf Gesicht und Hände sowie zu einem späteren Zeitpunkt sechs Ganzkörperbestrahlungen der Haut.

Im Verlauf der seriellen UV-Expositionen wird der Vitamin-D-Status über den 25OHD3-Serumspiegel (HPLC (high performance liquid chromatography)-Technik) bestimmt. Der aktive Metabolit $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ wird vor und nach den UV-Bestrahlungsserien bestimmt. Zusätzlich werden mögliche Einflussfaktoren wie die individuelle photobiologische UV-Hautempfindlichkeit einschließlich Epidermisdicke (Optische Kohärenztomografie) und relativem Hautpigmentierungsgrad (Chromametrie) bestimmt und weitere für den Vitamin-D-Status und Knochenstoffwechsel relevante Parameter (Parathormon, Kalzium, Phosphat etc.) erfasst.

Die Effizienz von UV-exponierter Haut für die 25OHD3-Bildung abhängig von der Körperregion wird nach jeweils dreimaliger Bestrahlung von Hautarealen gleicher Fläche bestimmt (Gesicht, Brust, Bauch, Rücken, Hände + Unterarme, Oberschenkel, Wade).

Die Untersuchungen zum 7-DHC-Gehalt (Provitamin D) in der Haut erfolgt mittels Analyse von Hautproben (Stanzbiopsien) aus unbestrahlten und in drei Dosisstufen sub-erythematös UV-bestrahlten Feldern der Gesäßregion für 40 freiwillige Teilnehmer, ebenfalls strukturiert nach Alter, Geschlecht und Hauttyp II oder III.

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 werden 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 werden mittels kontinuierlichem UV-Personenmonitoring erfasst, um diese Einflussgröße auf den Vitamin-D-Status zu bestimmen. Zur UV-Personendosimetrie kommen Polysulfonfilm-Dosimeter (Dermatologie/TU Dresden) zum Einsatz. In einer Datenbank zum UV-Personenmonitoring werden die Probandentagebücher (Zeitdauer, Bekleidungsstatus, Lichtschutzsubstanznutzung bei Aufenthalt im Freien, Hobbies, Arbeitsweg, usw.) sowie die solare Globalstrahlung und die Wetterparameter als globale Einflussfaktoren erfasst. Der Vitamin-D-Status wird 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. Gleichmaßen wurden die Untersuchungen zur Körperverteilung der Vitamin-D-Bildungseffizienz der Haut und zum Gehalt an Provitamin D (7-DHC) in der Haut im Jahr 2009 abgeschlossen.

Das im Mai 2008 begonnene kontinuierliche UV-Personenmonitoring mit den drei Erhebungen des Vitamin-D-Status pro Jahr wird bis Mai 2010 fortgeführt.

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 krebsschutzprotektive Wirkung zugeschrieben. Es wurde jedoch 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 noch gültige Normalbereich liegt zwischen 20 ng/ml und 60 ng/ml.

5.2 VITAMIN-D-STATUS

Ein erstes Ergebnis stellen die Ausgangswerte für 25OH-Vitamin-D3 im Serum dar (jeweils vor Studienbeginn Anfang März bis Anfang April erfasst). Die Werte liegen mit $18,4 \pm 8,6$ ng/ml im Mittel vergleichbar zu den Resultaten des Robert-Koch-Institutes (s. o.) bereits im Mangelbereich. Biologisch wirksamen UV-Expositionen von 0,3 MED (30% der persönlichen Sonnenbrandschwelle), aber auch schon 0,1 MED auf nur Gesicht und Hände (senkrecht) zwei mal wöchentlich eingestrahlt führen zu nachweislichen Erhöhungen ausgehend von den o. g. niedrigen Vitamin-D-Werten - sowohl unter natürlicher Solarexposition, als auch unter künstlicher, solarsimulierter Strahlung. Entsprechende Untersuchungen, bei denen typische Solarienstrahlern zum Einsatz kommen, erfolgen im Jahr 2010 (s. u.).

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.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für 2010 ist die Fortführung der Studien zur Abhängigkeit der Vitamin-D-Produktion von UV-Dosis und Hautfläche mit Solarienstrahlern entsprechend RTS-Gruppe Ic vorgesehen. Die Erfassung des Jahresverlaufes des Vitamin-D-Status und der beeinflussenden individuellen Verhaltensfaktoren wird fortgesetzt.

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 St.Sch. 3607S04556	Beginn 01.09.2007	Ende 31.03.2011	Fördermittel EUR 275.777,-
Forschungs- / Auftragnehmer Institut für Zell-Technologie e. V., Rostock			
Projektleitung Prof. Dr. M. Simkó	Fachbetreuung BfS Dr. A. Dehos / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text Prof. Dr. M. Simkó	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Projektes ist die weitere Aufklärung der Wirkmechanismen der durch niederfrequente Magnetfelder (50 Hz) mit niedrigen Flussdichten (10-200 μ T) ausgelösten biologischen Effekte. Dabei soll der Grundmechanismus, der zur Krebsentstehung führen kann, besonders berücksichtigt werden. Hierzu dient die so genannte „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. Weiterhin sollen spezifische, durch oxidativen Stress induzierte oder aktivierte Signalkaskaden auf Proteom- und Genom-Ebene, sowie Modulationen an der Zellproliferation und der Apoptose in menschlichen Immunzelllinien und ggf. primären Zellen des Immunsystems analysiert werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 UNTERSUCHUNGEN ZUM NACHWEIS DER ZELLEIGENEN ANTIOXIDANTIEN

Die Kinetik intrazellulärer Antioxidantien unter dem Einfluss niederfrequenter Magnetfelder (NF-MF) soll in unterschiedlichen immunrelevanten Zellen ermittelt werden.

2.2 UNTERSUCHUNGEN ZUM NACHWEIS DER MITOCHONDRIALEN AKTIVITÄT UND DER ZYTOTOXIZITÄT

Der Einfluss niederfrequenter Magnetfelder auf die mitochondriale Aktivität sowie das Vorhandensein zytotoxischer Wirkungen sollen in unterschiedlichen immunrelevanten Zellen untersucht werden.

2.3 UNTERSUCHUNGEN ZUR INDUKTION VON ZELLPHYSIOLOGISCHEN EFFEKTEN

Zellzykluskinetik und Apoptose-Induktion sollen unter dem Einfluss niederfrequenter Magnetfelder in unterschiedlichen immunrelevanten Zellen bestimmt werden.

3. METHODIK

Zum Nachweis der zelleigenen Antioxidantien wurde die Katalase-Aktivität in humanen Mono Mac 6 und K562 Zellen nach NF-MF-Exposition, und unter dem Einfluss verschiedener Chemikalien (1 μ M Phorbol-12-myristat-13-Acetat (PMA), 1 μ g/ml Lipopolysaccharid (LPS) und 100 μ M Natriumazid (NaN₃)) untersucht. Ebenso wurde die mitochondriale Aktivität der Zelllinien unter den gleichen Bedingungen ermittelt. Der Zellzyklusverlauf wurde in beiden Zelllinien nach 12 h NF-MF Exposition sowie in unterschiedlichen Kontrollansätzen (Sham, Brutschrankkontrolle, Zugabe von 0,5 mM Mimosin und 0,2 mM Nocodazol als Zellzyklus-Inhibitoren, Positivkontrolle) gemessen und die Auswirkungen 12, 24, 36, 48 und 60 h nach Exposition verfolgt.

Alle Ansätze wurden parallel für 45 Minuten oder 12 Stunden mit 50 Hz NF-MF, Sham und den Chemikalien bzw. als Brutschrankkontrollen behandelt. Die NF-MF Exposition wurde zunächst mit einer magnetischen Flussdichte von 200 μ T durchgeführt. Die Katalase-Aktivität wurde photometrisch, die mitochondriale Aktivität kolorimetrisch und der Verlauf des Zellzyklus sowie die Apoptose-Induktion durchflusszytometrisch bestimmt. Die erhaltenen Ergebnisse werden im Einzelvergleich mit den entsprechenden Kontrollen (Sham und/oder Brutschrankkontrolle) ins Verhältnis gesetzt und als E/C (Experiment/Kontrolle) angegeben. Die statistischen Analysen wurden mit Hilfe des Student-t Test ($p < 0,05$) und ANOVA durchgeführt. Alle Untersuchungen wurden in mindestens drei Parallelansätzen und in mindestens drei unabhängigen Versuchen durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

Die meisten Methoden sind bereits etabliert. Es wurden Untersuchungen zur Bildung freier Radikale bis zu 3 h nach NF-MF-Exposition und zum Nachweis des reduzierten Glutathions (GSH) sowie des oxidierten Glutathions (GSSH) unter dem Einfluss von NF-MF in unterschiedlichen immunrelevanten Zellen durchgeführt. Die Auswertung der erzielten Ergebnisse ist noch nicht abgeschlossen.

5. ERGEBNISSE

Die Katalase-Aktivität wurde als Nachweis der zelleigenen Antioxidantien in den Zelllinien nach Exposition mit NF-MF (200 μ T), LPS oder PMA für 45 Minuten bestimmt. Es konnte keine Veränderung der Aktivität nach NF-MF-Exposition ermittelt werden. Dagegen ergab die Behandlung mit 100 μ M NaN₃ (Cytochrome C Oxidase-Inhibitor) als Positivkontrolle eine Erhöhung der Katalase-Aktivität in beiden Zelllinien. Die Behandlungen mit PMA oder LPS, die als Positivkontrollen für die ROS-Produktion wirksam sind, zeigten interessanterweise keinen Effekt auf die Katalase-Aktivität.

Die mitochondriale Aktivität wurde nach NF-MF- und Sham-Exposition, in der Brutschrankkontrolle, unter PMA- und LPS- Behandlung und mit verschiedenen Ko-Expositionen getestet. Nach NF-MF-Exposition zeigte sich eine signifikante Erhöhung der mitochondrialen Aktivität im Vergleich zur Sham und Brutschrankkontrolle in Mono Mac 6 Zellen. Die PMA- bzw. LPS- Behandlung allein ergab keine Veränderungen, während die Ko-Exposition mit NF-MF und LPS oder PMA zu einer statistisch signifikanten Erhöhung der mitochondrialen Aktivität führte. Die Exposition der K562 Zellen mit NF-MF führte zu keiner Veränderung der mitochondrialen Aktivität, während die Behandlung mit PMA allein oder die Ko-Exposition mit NF-EMF eine signifikante Abnahme der mitochondrialen Aktivität ergab. Die erhöhte mitochondriale Aktivität wird auch als Indikator für die Erhöhung der Zellproliferation verwendet.

Diese Ergebnisse, nämlich die statistisch signifikante Erhöhung der mitochondrialen Aktivität nach NF-MF-Exposition in Mono Mac 6 Zellen, unterstützen die Ergebnisse unserer früheren Studien. Die Bildung reaktiver Sauerstoffradikale nach NF-MF-Exposition und die gleichzeitige Erhöhung der mitochondrialen Aktivität sind ein Indikator für die Induktion zellulärer Aktivierungsprozesse. Die Abnahme der mitochondrialen Aktivität in K562 Zellen nach PMA-Behandlung könnte ein Indikator für die Induktion von Zelldifferenzierung (megakaryozytische Zelldifferenzierung) sein, welche mit der Inhibierung der Zellproliferation einhergeht.

Die Untersuchungen zur Zellzykluskinetik nach 12 h Exposition mit NF-MF ergaben weder in den Mono Mac 6 noch in den K562 Zellen Veränderungen. Nur in den Positivkontrollen (Behandlung mit Mimosin und Nocodazol) zeigten sich signifikante Veränderungen im Zellzyklusphasen-Verlauf.

Die durchflusszytometrischen Untersuchungen zur Apoptose-Induktion nach 12 h NF-MF-Exposition (200 μ T) ergaben ebenfalls keine Veränderungen in den untersuchten Zelllinien. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass eine Erwärmung auf 40°C eine statistisch signifikante Induktion von nekrotischen sowie so genannten früh- und spät-apoptotischen Zellen in beiden Zelllinien hervorrufen kann.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass 50 Hz MF (200 μ T) die Aktivierung von Mono Mac 6 Zellen, gemessen durch die Produktion von reaktiven Sauerstoffspezies und die Erhöhung der mitochondrialen Aktivität, hervorrufen können, ohne Einfluss auf die antioxidative Katalase und auf zellphysiologische Prozesse wie Zellzyklusverlauf und Apoptose-Induktion zu nehmen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Der Arbeitsplan wird weiter umgesetzt und die biochemischen, molekularbiologischen und zellphysiologischen Untersuchungen wie geplant durchgeführt.

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 St.Sch. 3608S04557	Beginn 01.04.2008	Ende 31.03.2011	Fördermittel EUR 727.977,-
Forschungs- / Auftragnehmer Universitätsklinikum Essen, 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	

1. ZIELSETZUNG

Die Auswirkungen wiederholter Exposition mit verschiedenen statischen Magnetfeldern des MRT (Magnetresonanztomographie) auf die Endpunkte Fortpflanzung und Embryonalentwicklung sollen im Tiermodell untersucht werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

In dieser Studie soll die Auswirkung täglich wiederholter Exposition mit statischen Magnetfeldern (1,5 und 7 Tesla) auf die Spermienreifung bei männlichen Mäusen nach direkter Bestrahlung und nach Exposition in utero untersucht werden; desgleichen wird bei weiblichen Mäusen die Auswirkung auf den Trächtigkeitsverlauf und die Entwicklung der Föten evaluiert.

2.1 EFFEKT STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE SPERMIENENTWICKLUNG

In diesem Versuch sollen sowohl die Gewichte von Nebenhoden, Nebenhodenschwanz und Hoden als auch die Spermienkonzentration sowie die Spermiovitalität und Morphologie nach direkter Exposition ermittelt werden.

2.2 AUSWIRKUNG DER FERTILITÄT VON MÄNNLICHEN MÄUSEN NACH IN UTERO EXPOSITION MIT STATISCHEN MAGNETFELDERN (F1-GENERATION)

Auch hier sollen die Gewichte von Nebenhoden, Nebenhodenschwanz und Hoden, die Spermienkonzentration und die Vitalität der Spermien ermittelt werden. Zusätzlich wird auch die Fertilität der exponierten Männchen überprüft, indem sie mit nicht behandelten Weibchen verpaart und die Anzahl der Föten, Gewichte und Plazenten am Ende der Trächtigkeit überprüft werden.

2.3 EFFEKT STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE FERTILITÄT UND DEN TRÄCHTIGKEITS-VERLAUF

Die Trächtigkeitsdauer, sowie die Wurfgröße werden nach direkter Exposition während der Trächtigkeit bestimmt werden.

2.4 EFFEKTE STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE ENTWICKLUNG DER FÖTEN

Sowohl die Größe als auch das Wachstum und die Gewichte der Neugeborenen sollen in den ersten beiden Monaten bestimmt werden.

2.5 FERTILITÄT VON WEIBLICHEN MÄUSEN, DIE IN UTERO EXPONIERT WURDEN (F1-GENERATION)

Hier sollen die in utero exponierten Weibchen mit nicht exponierten Männchen verpaart und gegen Ende der Trächtigkeit die Anzahl der Föten, das Gewicht und das Gewicht der Plazenta bestimmt werden.

3. METHODIK

3.1 UNTERSUCHUNG DES EINFLUSSES STATISCHER MAGNETFELDER AUF FERTILITÄT UND ENTWICKLUNG

Die Bedingungen der Bildgebung bei Patienten sowie die Exposition des betreuenden Personals werden so weit wie möglich nachgestellt. Zur Validierung der Versuchsergebnisse werden die statischen Magnetfelder vor dem Beginn der Experimente gemessen. Ebenso werden sowohl für die exponierten als auch für die scheinexponierten Tiere 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 MRT, auf die Fertilitäts- und Entwicklungsparameter werden im Vergleich zu scheinexponierten Mäusen und Käfigkontrollen analysiert.

3.2 STATISTIK

Bei der geplanten 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 auf die Trächtigkeitsdauer und die Wurfgröße 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, in denen die Mäuse unterschiedlich starken statischen Magnetfeldern ausgesetzt worden sind. Eine Versuchsgruppe wurde im Isocenter eines 1,5 Tesla sowie eines 7 Tesla MRT exponiert. Zwei Versuchsgruppen wurden unmittelbar neben dem Eingang zur MRT-Röhre des 1,5 bzw. 7 Tesla exponiert. Diese Position entspricht der des medizinischen Personals. Als Kontrolle wurde eine Gruppe in einer Scheinexpositionsanlage exponiert und eine Versuchsgruppe als Käfigkontrolle gehalten. Die Behandlungsdauer betrug für männliche adulte Mäuse 21 Tage, täglich 75 Minuten 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 Spermiogenese bzw. der Trächtigkeitsdauer, die bei Mäusen zwischen 19 und 21 Tagen liegt.

5. ERGEBNISSE

5.1 EFFEKTE STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE SPERMENQUALITÄT IN MÄUSEN

Bisher wurden 117 männliche Mäuse nach 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. Desgleichen gilt auch für die Spermienkonzentration, die Vitalität der Spermien und für die Spermienmorphologie. Das heißt zusammengefasst, dass sowohl die Position im 7 Tesla als auch im 1,5 Tesla innen und außen im Vergleich zu den Käfigkontrollen und zu den Scheinexpositionskontrollen keine Unterschiede in den erhobenen Fertilitätsparametern zeigt.

5.2 FERTILITÄT MÄNNLICHER MÄUSE NACH DER EXPOSITION IN UTERO (F1-GENERATION)

71 ausgewählte Männchen der F1-Generation wurden nach 2 bis 3 Monaten der Entwicklung auf ihre Fertilität hin überprüft. Es zeigte sich, dass weder Nebenhoden, Nebenhodenschwanz und Hodengewicht noch die Spermienmenge und die Vitalität der Spermien im Vergleich zu den Käfig- und Scheinexpositionskontrollen verändert waren. Wurden 34 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 FERTILITÄT UND DEN TRÄCHTIGKEITSVERLAUF

Bisher wurden 80 weibliche Mäuse nach Exposition 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 FERTILITÄT WEIBLICHER MÄUSE NACH EXPOSITION IN UTERO (F1-GENERATION)

Weibliche Mäuse, die in utero exponiert waren und mit nicht behandelten Männchen verpaart wurden, zeigten ebenfalls keine Veränderung in der Anzahl ihrer Föten und ihres Gewichtes sowie im Gewicht ihrer Plazenten. Dieser Versuch ist noch nicht abgeschlossen, es wurden bisher nur 20 Weibchen der F1-Generation untersucht.

5.5 ENTWICKLUNG VON IN UTERO EXPONIERTEN JUNGTIEREN

Bisher wurden 454 in utero exponierte Jungtiere untersucht. Sowohl in der Größenzunahme als auch in der Gewichtszunahme der Jungtiere zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Entwicklung zwischen den verschiedenen exponierten Gruppen im Vergleich zu den Käfigkontrollen und Scheinexpositionskontrollen. Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass durch die Exposition die männlichen und trächtigen weiblichen Mäuse, die sowohl 1,5 Tesla als auch 7 Tesla statistischen Magnetfeldern in zwei Positionen, einmal zentral in der Röhre und einmal kurz vor dem Röhreneingang, täglich für 75 Minuten ausgesetzt waren, bisher weder eine Reduktion der männlichen Fertilität in der F0- oder der F1-Generation zeigten, noch zeigte sich bei den weiblichen Tieren ein Einfluss auf Fertilität, Trächtigkeitsverlauf sowie Wurfgröße und Entwicklung der Jungtiere.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Zur statistischen Absicherung müssen die Gruppengrößen noch erhöht werden, insbesondere die F1-Generation der weiblichen Tiere, die in utero den statischen Magnetfeldern ausgesetzt waren. Je nach Fund von eventuellen Fehlbildungen der Jungtiere werden noch histologische Analysen durchgeführt werden.

Nach Erhöhung der Gruppengrößen - wie in den Methoden angegeben - erfolgt die endgültige statistische Auswertung der Versuchsergebnisse.

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 haematopoietic system, immune system and CNS in vivo</i>			
Kennzeichen St.Sch. 3608S30006	Beginn 01.05.2009	Ende 30.04.2012	Fördermittel EUR 742.990,-
Forschungs- / Auftragnehmer Fraunhofer Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin (ITEM), Hannover			
Projektleitung Dr. G. Lewin	Fachbetreuung BfS Dr. M. Asmuß / AG-SG 1.1	verantwortlich für den Text Dr. G. Lewin, Dr. J. Buschmann	

1. ZIELSETZUNG

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 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 pränatalen und einer Exposition im Kindesalter auf das sich in der Entwicklung befindliche blutbildende System, das Immunsystem und das Zentralnervensystem (ZNS) bis in den Alterungsprozess von 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 Bundesimmissionsschutzverordnung abdecken.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 LITERATURSTUDIE

Es soll eine Literaturstudie gefertigt werden, die den derzeitigen Stand der Forschung bezüglich einer Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern und dem Auftreten von Krebserkrankungen im Kindes- bzw. Jugendalter darstellt.

2.2 EXPOSITION

Labornager sollen chronisch mit unterschiedlichen magnetischen Flussdichten von 50 Hz Magnetfeldern exponiert werden. Dabei sollen die Expositionsbedingungen so gewählt werden, dass im Körper der Tiere Stromdichten induziert werden, die denen entsprechen, die beim Menschen unter Exposition mit magnetischen Flussdichten von 0 (Scheinexposition) 1, 100 und 1.000 μT auftreten. Die Exposition der Tiere soll bereits in utero beginnen und bei den Nachkommen durchgehend fortgesetzt werden. Eine geeignete Expositionsanlage wird konzipiert, entwickelt und aufgebaut. Feld- und Temperatur-Überwachung sowie die Kontrolle wichtiger Umgebungsbedingungen sind zu gewährleisten.

2.3 BIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Es wird eine umfassende, systematische Analyse relevanter hämatologischer, immunologischer und Verhaltensparameter durchgeführt.

Für die Fragestellung relevante Organe wie Thymus, Milz, Lymphknoten, Knochenmark, Leber, Gehirn und ggf. Tumoren in anderen Organen werden histopathologisch untersucht.

Zur Untersuchung möglicher Auswirkungen der Feldexposition auf die Gehirnentwicklung werden zu mehreren Zeitpunkten geeignete Tests durchgeführt.

Der allgemeine Gesundheitszustand der Tiere wird während des gesamten Expositionszeitraums erfasst und dokumentiert. Bei den Jungtieren werden auch relevante Entwicklungsparameter erfasst.

3. METHODIK

Die Untersuchungen werden an weiblichen CD-1 -Mäusen durchgeführt.

3.1 EXPOSITION

Der Entwurf des Spulensystems erfolgt in enger Zusammenarbeit mit der IMST GmbH, Kamp-Lintfort. Die Konzeptionierung der Expositionsanlage erfolgt mit dem Feldsimulationsprogramm EMPIRE der IMST GmbH und MagNet der Firma Infolytica. Zur messtechnischen Überprüfung der Anlage werden Feldsondenmesssysteme der Firmen Chauvin Arnoux und Narda Safety Test Solutions eingesetzt.

3.2 BIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die biologischen Untersuchungen werden in Teil A und B unterteilt.

3.2.1 Teilstudie A

In der Teilstudie A werden Effekte bis zum Alter von 90 Tagen erfasst. Hierzu gehören die Untersuchungen der Muttertiere, Untersuchungen der Nachkommen (Wurfgrößen, Lebensfähigkeit, klinische Befunde, Körpergewicht, Geschlechtsbestimmung), insbesondere jedoch die Untersuchungen des hämatopoietischen Systems und des Immunsystems. Die Untersuchungen des blutbildenden Systems (Differentialblutbild und Retikulozytenauswertung, kleines Blutbild) und des Immunsystems (durchflusszytometrische Messung des Immunstatus in Blut und Milz, Messung der Proliferation von Milzzellen) werden im Alter von 28 und 90 Tagen durchgeführt.

3.2.2 Teilstudie B

In der Teilstudie B zur Untersuchung möglicher kanzerogener Effekte werden Interimsuntersuchungen zu physiologischen Parametern und zum Verhalten durchgeführt und am Ende der Studiendauer im Alter von 18 Monaten neben den histopathologischen Untersuchungen weitere Untersuchungen am blutbildenden und Immunsystem vorgenommen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 KONZEPTIONIERUNG DER EXPOSITIONSANLAGE

Mit der Expositionseinrichtung werden 4 Gruppen von Tieren in jeweils 18 Käfigen und 4 Mäusen pro Käfig kontinuierlich für 20 Stunden täglich befeldet. Die Exposition der Tiere erfolgt geblendet mit drei Feldintensitäten der magnetischen Flussdichte (9,6 μT , 961 μT und 9.608 μT). Außerdem wird eine Gruppe von Tieren scheinexponiert und eine Gruppe von Tieren als Kontrolle in herkömmlichen Käfigen außerhalb der Expositionsanlagen mitgeführt.

Das Expositionsvolumen beträgt 682 mm x 620 mm x 605 mm. In diesem Raum sind die Versuchstiere in nichtmetallischen Spezialkäfigen mit nichtmetallischen Trinkflaschen untergebracht. Das Regalsystem zur Halterung der Käfige ist ebenfalls nichtmetallisch. Eventuell auftretende Vibrationen der Käfige werden durch eine externe Aufhängung der Käfigsysteme vermieden. Zur Vermeidung unterschiedlicher Geräuschpegel findet eine Beschallung aller Spulen statt. Hierdurch sollen weitere Stressfaktoren, welche Einfluss auf das Immunsystem und Verhalten der Tiere haben könnten, angeglichen werden.

4.2 AUFBAU UND TEST DER EXPOSITIONSANLAGE

Die Expositionseinheiten der IMST GmbH wurden am Fraunhofer Institut installiert und an neu entworfene Kühl- und Sicherheitssysteme angeschlossen. Abschließend wurden sie technisch getestet und ein mehrwöchiger Vorversuch mit weiblichen CD-1 Mäusen durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

5.1 LITERATURSTUDIE ZUM GEGENWÄRTIGEN STAND DES WISSENS

Die Literaturstudie zeigte deutlich die bestehende Diskrepanz zwischen den epidemiologischen Daten zu einem möglichen Zusammenhang einer Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern und dem Auftreten kindlicher Leukämien auf der einen Seite und experimentellen Untersuchungen auf der anderen Seite, die bisher nicht in der Lage waren, diesen Verdacht zu bestätigen oder mögliche Mechanismen einer Interak-

tion aufzudecken. Die Literaturstudie ist auf der Internetseite des BfS unter www.bfs.de/de/elektro/nff/papier/Literaturstudie_blutbildendes_System.html im Volltext abrufbar.

5.2 AUFBAU UND TEST DER EXPOSITIONSANLAGE

Umgebungsparameter wie Licht, Vibration, Geräuschpegel, Luftfeuchtigkeit und Temperatur wurden nach Installation der Spulensysteme geprüft. Die gemessenen Daten entsprachen den technischen und tierschutzrechtlichen Vorgaben. Während der Exposition wird eine Feld- und Temperaturüberwachung durchgeführt und dokumentiert. Die Felddomogenität der Spulen innerhalb des Expositionsvolumens wurde messtechnisch ermittelt. Die ermittelte Standardabweichung für die magnetische Flussdichte beträgt 6,7%. Die Steuerung der Spulensysteme und die Expositionsüberwachung erfolgt über einen PC. Im Falle eines gravierenden Fehlers, wie eines Kurzschlusses oder einer Überhitzung, wird die Anlage automatisch abgeschaltet. Umfangreiche Maßnahmen zum Personenschutz der an der Studie beteiligten Mitarbeiter wurden implementiert.

In einem Vorversuch zeigten sich keine Auswirkungen der Magnetfeldexposition auf das Körpergewicht, die Körpertemperatur oder das Auftreten klinischer Befunde bei den untersuchten Versuchstieren.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

In der anschließenden Phase des Forschungsvorhabens werden trächtige Mäuse und ihre Nachkommen in den Expositionseinrichtungen kontinuierlich unterschiedlich starken Magnetfeldern ausgesetzt und die Jungtiere in verschiedenen Phasen ihrer Entwicklung auf Veränderungen des blutbildenden und Immunsystems sowie der Reifung ihres Zentralnervensystems hin untersucht.

Thema Erweiterungsstudie zu multinationaler Fall-Kontroll-Studie zu Hirntumoren durch Radiofrequenzstrahlung bei Kindern und Erwachsenen (MOBI-KIDS)			
Subject <i>Extension study to multinational case-control study of brain cancer from exposure to radiofrequency fields in childhood and adolescence (MOBI-KIDS)</i>			
Kennzeichen St.Sch. 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 Dr. S. Thomas

1. ZIELSETZUNG

Die Erweiterungsstudie ist eng an das EU-Forschungsvorhaben MOBI-KIDS gekoppelt. Ziel dieser multizentrischen Fall-Kontroll-Studie ist es, mögliche Effekte der Nutzung von Kommunikationsgeräten und anderen Risikofaktoren in der Umwelt auf die Entstehung von Tumoren des zentralen Nervensystems bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen zu untersuchen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Um die Repräsentativität der EU-Studie zu verbessern und damit insgesamt die Aussagekraft der Studie zu erhöhen, sollen in der Erweiterungsstudie zusätzlich zu Krankenhauskontrollen jeweils populationsbezogene Kontrollen untersucht werden.

Da die Exposition in der EU-Studie lediglich mittels Fragebogenangaben abgeschätzt wird, werden in der Erweiterungsstudie personenbezogene Messungen mittels Personendosimetern an einer Teilstichprobe durchgeführt, um eine zusätzliche Aussage über die objektiv gemessene Exposition machen zu können.

3. METHODIK

Für alle Fälle aus der EU-Studie werden in der Erweiterungsstudie populationsbezogene Kontrollen untersucht.

- Als Fälle werden Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene zwischen 10 - 24 Jahren eingeschlossen, die einen diagnostizierten Gehirntumor aufweisen und deren Tumor während der Studiendauer diagnostiziert wird.
- Insgesamt sollen bei einer erwarteten Fallzahl von 300 jeweils 2 Kontrollen pro Fall, somit insgesamt 600 Kontrollen rekrutiert werden.
- Die populationsbezogenen Kontrollen werden per Zufallsstichprobe über Einwohnermeldeämter gezogen. Geplant ist, die Kontrollen nach Alter, Geschlecht und Wohnort zu matchen.

Die Expositionsmessungen werden lediglich an einer Teilstichprobe, bestehend aus 100 Fällen und Populations- sowie Krankenhauskontrollen, durchgeführt. Aus logistischen Gründen werden die Messungen nur im Raum München durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

Nach der Stichprobenziehung durch das jeweilige Einwohnermeldeamt werden die möglichen Kontrollen schriftlich-postalisch zur Teilnahme an der Studie gebeten. Das Anschreiben enthält ein Informationsschreiben über die Studie, eine Einverständniserklärung zur Teilnahme und zur Verwendung der Daten zur Studie sowie den Fragebogen.

Ein für die EU-Studie entwickelter Fragebogen, der auf dem der INTERPHONE-Studie basiert, wird, wo möglich, in einem persönlichen Interview ausgefüllt. Neben dem Fragebogen für die Kinder und Jugendlichen wird ebenfalls die Mutter um Beantwortung einiger Fragen gebeten.

Für die Messungen werden Probanden, die im Raum München leben, zusätzlich zu Expositionsmessungen eingeladen. Sobald eine Einverständniserklärung zur Messung vorliegt, wird ein Termin für einen Hausbesuch vereinbart, an dem ein Mitarbeiter ein Personendosimeter zum betreffenden Probanden bringt und ihm den Umgang mit dem Gerät erklärt. Nach Ablauf der Messung holt der Mitarbeiter das Messgerät wieder bei dem Probanden ab.

Alle aus dem Fragebogen erhobenen Daten werden nach Rückerhalt direkt in Doppeleingabe in eine Computer-Datenbank eingegeben, geprüft und für die spätere Analyse aufbereitet. Die Messdaten werden direkt nach der Messung ausgelesen und auf Plausibilität geprüft.

4.1 EXPOSITIONSMESSUNGEN

Die Erfassung der Exposition erfolgt bei jedem Probanden über einen Zeitraum von 24 Stunden. Die Messung erfolgt über ein am Oberarm fixiertes Messgerät, das ESM-140 der Firma Maschek. Um die Beeinträchtigung des Teilnehmers durch das Messgerät am Messtag so gering wie möglich zu halten, wird besonderer Wert auf eine Minimierung der Größe des Geräts ohne entscheidenden Verlust der Güte der Expositionsabschätzung gelegt.

Beschrieben werden soll die Exposition, der jeder mehr oder weniger unwillkürlich ausgesetzt ist. Gemessen werden die Frequenzen der Mobilfunk- und DECT-Telefone sowie deren Basisstationen und die WLAN-Frequenz. Die einzelnen Mobilfunkbereiche werden getrennt erfasst durch Bandpässe im D/E/UMTS-Band. Die Exposition wird über den Messzeitraum von 24 Stunden einmal pro Sekunde erfasst (86.400 Einzelmesswerte pro Tag). Die Verteilung der Exposition wird in Form eines Tagesprofils ermittelt.

5. ERGEBNISSE

Ergebnisse liegen noch nicht vor, da die Fragebogenentwicklung in der multinationalen Hauptstudie noch nicht abgeschlossen ist.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Momentan befindet sich die Fragebogenentwicklung in der Endphase, so dass im nächsten Schritt der Ethikantrag für die Studie gestellt werden kann. Daneben werden die Datenbanken aufbereitet und die Kontaktaufnahme zu Fällen und Kontrollen weiter vorbereitet.

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 St.Sch. 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 strahlungsschutztechnisch 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 FELDSTÄRKE- BZW. SAR-MESSUNGEN MIT KONKRETEN PRODUKTEN

An ausgewählten Produkten der sich aus der Technologie- und Produktrecherche ergebenden, strahlungsschutztechnisch voraussichtlich am meisten relevanten Anwendungen werden zunächst detaillierte Messungen vorgenommen. Konkret sind zunächst Messungen an vier unterschiedlichen Transpondern (je nach Möglichkeit Feldstärkemessungen im Nahfeld oder SAR-Messungen im homogenen Flachphantom) vorgesehen, die ausschließlich zur Validierung der zu erstellenden numerischen Modelle der Transponder für die weitere detaillierte Expositionsanalyse mit anatomischen Körpermodellen dienen (siehe 3.3). Des Weiteren erfolgen Messungen in zehn unterschiedlichen Expositionsszenarien mit lokaler Exposition durch Lesegeräte und in 14 unterschiedlichen Expositionsszenarien mit Ganzkörperexposition durch Lesegeräte. In den letztgenannten Szenarien mit Lesegeräten dienen die Messungen (je nach Frequenz und Szenario Feldstärkemessungen

und / oder SAR-Messungen am Flachphantom) nicht nur zur Validierung der Quellenmodelle, 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. Des Weiteren werden mindestens 10 unterschiedliche, in Kaufhäusern installierte Warensicherungssysteme messtechnisch (mittels Feldstärkemessungen) untersucht.

3.3 NUMERISCHE BERECHNUNGEN (COMPUTERSIMULATIONEN) MIT ANATOMISCHEN KÖRPERMODELLEN

Die vier Transponderszenarien, die sechs relevantesten Szenarien mit lokaler Exposition durch Lesegeräte, sowie die zehn relevantesten Ganzkörperexpositionsszenarien mit Lesegeräten werden 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 betrachtet werden.

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 aus strahlenschutztechnischer Sicht am meisten relevanten RFID-Technologien bzw. -Anwendungen wurden erhoben (vgl. Tabellen 1-3). Derzeit werden Messungen und Simulationen für die Szenarien mit Expositionen durch Transponder durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

Die Technologie- und Produktrecherche ist abgeschlossen und die numerisch zu untersuchenden Transponderszenarien sowie die messtechnisch zu untersuchenden Szenarien mit lokaler und Ganzkörperexposition durch Lesegeräte wurden definiert (siehe Tabellen 1-3).

Tabelle 1:

Auf Basis numerischer Berechnungen zu untersuchende Transpondertypen hinsichtlich der lokalen Exposition von Personen durch Felder von RFID-Transponder

1	433 MHz aktiver Transponder	3	2,45 GHz aktiver Transponder
2	868 MHz aktiver Transponder	4	13,56 MHz passiver Transponder

Tabelle 2:

Messtechnisch zu untersuchende Szenarien mit lokaler Exposition von Personen durch Felder von RFID-Lesegeräten

1	Exposition der Hände während Deaktivierung von RF-EAS-Tags (8,6 MHz)
2	Exposition der Hände während Deaktivierung von AM-EAS-Tags (58 kHz)
3	Exp. d. Unterarms durch Antenne eines LF-Zutrittskontrollsystems mit Vicinity Coupling (125 kHz)
4	Exp. d. Unterarms durch Antenne eines HF-Zutrittskontrollsystems mit Vicinity Coupling (13,56 MHz)
5	Exposition der Hand nahe stationärem HF-Proximity Reader (13,56 MHz)
6	Exposition der Hand bei Verwendung eines handgehaltenen HF-Proximity Readers (13,56 MHz)
7	Exposition der Hand während NFC (near field communication)-Datentransfer (13,56 MHz)
8	Exposition der Hand bei Verwendung eines handgehaltenen UHF(Ultra high frequency)-Proximity Readers (868 MHz)
9	Lokale Exposition bei starker Annäherung an stationäre UHF-Reader (868 MHz)
10	Lokale Exposition bei starker Annäherung an stationäre Mikrowellen (MW)-Lesegeräte (2,45 GHz)

Tabelle 3:

Messtechnisch zu untersuchende Szenarien mit Ganzkörperexposition von Personen durch Felder von RFID-Lesegeräten

1	Exposition in RF-EAS-System, Typ 1 (8,6 MHz)
2	Exposition in RF-EAS-System, Typ 2 (8,6 MHz)
3	Exposition in RF-EAS-System, Typ 3 (8,6 MHz)
4	Exposition in RF-EAS-System, Typ 4 (8,6 MHz)
5	Exposition in AM-EAS-System, Typ 1 (58 kHz)
6	Exposition in AM-EAS-System, Typ 2 (58 kHz)
7	Exposition in AM-EAS-System, Typ 3 (58 kHz)
8	Exposition in EM-EAS-System, Typ 1 (16 Hz – 10 kHz)
9	Exposition in EM-EAS-System, Typ 2 (16 Hz – 10 kHz)
10	Exposition durch Antenne eines LF-Zutrittskontrollsystems mit Vicinity Coupling (125 kHz)
11	Exposition durch Antenne eines HF-Zutrittskontrollsystems mit Vicinity Coupling (13,56 MHz)
12	Exposition im Feldbereich des Readers eines LF-Systems zur Tieridentifikation (125 kHz)
13	Exposition durch stationären UHF-Reader (868 MHz)
14	Exposition durch stationären MW-Reader (2,45 GHz)

Numerische Quellenmodelle für die ersten Transpondertypen (Nr. 1 und 3 in Tabelle 1) konnten bereits entwickelt und erfolgreich validiert werden. Numerische Berechnungen mit diesen Quellenmodellen und anatomischen Körpermodellen laufen bereits. Ebenso wurden die messtechnischen Untersuchungen an weiteren RFID-Geräten (unterschiedliche Lesegeräte, siehe Tabellen 2 und 3) begonnen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Der weitere Projektablauf erfolgt plangemäß, d. h. parallel zu den numerischen Berechnungen der Transponderszenarien erfolgen die messtechnischen Untersuchungen, zunächst mit Priorität für Szenarien mit lokaler Exposition, um möglichst bald die Auswahl der relevantesten dieser Szenarien treffen und mit der Quellenmodellierung beginnen zu können. Ebenso wird frühestmöglich mit Messungen von Ganzkörperszenarien begonnen und deren Reihung hinsichtlich strahlenschutztechnischer Relevanz und anschließender numerischer Berechnung durchgeführt. Schließlich erfolgen die Untersuchungen bezüglich möglicher Auswirkungen auf Implantatträger und die abschließende strahlenschutztechnische Gesamtbeurteilung.

Thema

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

Subject

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

Kennzeichen

St.Sch. 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 ist 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 sollen dabei berücksichtigt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 BEWERTUNGSMAßSTÄBE FESTLEGEN

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

2.2 KONZEPT FÜR SYSTEMATISCHE IDENTIFIZIERUNG ENTWICKELN

Für eine möglichst vollständige Erfassung künstlicher Quellen samt Expositionsdaten muss zunächst ein geeignetes Konzept entwickelt werden. Bezüglich der Vorgehensweise sind Quellen etablierter Technologien von Quellen neuer und absehbarer Technikentwicklungen sinnvollerweise zu unterscheiden. Zusammen mit den Bewertungsmaßstäben aus Abschnitt 2.1 ist dann ein planmäßiges Vorgehen bei der Identifizierung möglich.

3. METHODIK

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

4. DURCHFÜHRUNG

Für die Literaturrecherche wurden eigene Forschungsarbeiten der Auftragnehmer sowie anderer Arbeitsgruppen und Publikationen in Literaturdatenbanken und im Internet ausgewertet sowie aktuelle Beratungen in einschlägigen nationalen und internationalen Gremien herangezogen. Ein in der Literatur beschriebenes Bewertungsschema auf Punktbasis wurde auf den vom aktuellen Projekt abzudeckenden Frequenzbereich einschließlich der optischen Strahlung ausgeweitet.

5. ERGEBNISSE

5.1 BEWERTUNGSMAßSTÄBE FÜR QUELLEN NICHTIONISIERENDER STRAHLUNG

Aus den bekannten Wirkungsmechanismen nichtionisierender Strahlung, den daraus abgeleiteten internationalen und nationalen 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, 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 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 zugehörige 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 und der medizinische Bereich definiert, die im weiteren Verlauf hinsichtlich möglicher Quellen analysiert werden.

Zusätzlich werden die solchermaßen gewonnenen Informationen auch durch einen quellenbezogenen Ansatz ergänzt. Für Quellen, die außerhalb von Gebäuden betrieben werden, wurde ebenfalls ein quellenbezogener Ansatz gewählt. Für Telekommunikationsanwendungen wird 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.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im weiteren Projektverlauf werden die entwickelten Konzepte und Strategien umgesetzt. Jede identifizierte Quelle wird unter der Berücksichtigung der in Abschnitt 5.1 definierten Kriterien untersucht. Mit den gewonnenen Daten aus 5.3 und einfachen Rechenmodellen werden die zu erwartenden Immissionswerte abgeschätzt. Auf diese Weise wird eine Liste der systematisch erfassten Quellen nichtionisierender Strahlung erstellt, die einen relevanten Beitrag zur Exposition der Bevölkerung liefern können.

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 01.11.09	Ende 31.10.12	Fördermittel EUR 605.280,-
Forschungs- / Auftragnehmer Jacobs University, Bremen			
Projektleitung Prof. Dr. A. Lerchl	Fachbetreuung BfS Dr. M. Asmuß / AG-SG 1.1.		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 (ZNS) 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 GSM (global system mobile communication)-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 Rattengehirn gemittelten SAR (spezifische Absorptionsrate)-Werten von 0 (Scheinxposition), 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 Absorptionsrate 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, das geeignet ist, Effekte möglichst sensitiv zu erfassen, darunter mindestens ein auf Gedächtnisleistung bezogener Test. Die Tests sollen einmal im Jugendalter, einmal im Erwachsenenalter und einmal am älteren Tier durchgeführt werden.

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 (Magnetresonanztomograph)-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 mit der Entwicklung der Expositionsanlage begonnen.

5. ERGEBNISSE

Die Literaturstudie wurde erstellt, weitere Ergebnisse lagen am Ende des Berichtszeitraums noch nicht vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

In 2010 wird die Expositionsanlage fertig gestellt und mit den unter Punkt 3 dargelegten biologischen Arbeiten begonnen.

Im Jahr 2009 begonnene Forschungsvorhaben

Research projects started in 2009

THEMENBEREICH 04 / MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Thema

Konzepte zur Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm

Subject

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

Kennzeichen St.Sch. 3609S40004	Beginn 27.10.2009	Ende 31.03.2010	Fördermittel EUR 112.572,-
--	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Forschungs- / Auftragnehmer

Zentralinstitut für die kassenärztliche Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland, Berlin

Projektleitung

Dr. A. Moniem Mukhtar,
Dr. D. Graf von Stillfried

Fachbetreuung BfS

Dr. E. Nekolla / AG-SG 2.1

THEMENBEREICH 07 / VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

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 St.Sch. 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

Thema

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

Subject

Update and evaluation of task-related radiation exposure in facilities according to AtG, on-site located interim storages for nuclear waste and non-nuclear facilities according to StrlSchV and RöV

Kennzeichen St.Sch. 3609S20001	Beginn 01.11.2009	Ende 31.10.2012	Fördermittel EUR 373.585,-
--	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Forschungs- / Auftragnehmer

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), Köln

Projektleitung

Dr. J. Kaulard

Fachbetreuung BfS

Dr. G. Frasch / AG-SG 2.3

THEMENBEREICH 08 / NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Thema

Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT während der Embryonalentwicklung auf kognitives und emotionales Verhalten bei Mäusen

Subject

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

Kennzeichen

St.Sch. 3609S30014

Beginn

01.09.2009

Ende

31.08.2010

Fördermittel

EUR 58.405,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Zentralinstitut für Seelische Gesundheit Mannheim, Universität Heidelberg

Projektleitung

Prof. P. Gass

Fachbetreuung BfS

PD Dr. B. Pophof / AG-SG 1.1

Kontaktadressen

Fragen nach näheren Informationen über die in diesem Programmreport genannten Projekten können an folgende Stellen gerichtet werden:

Bundesamt für Strahlenschutz
Verwaltungsmäßige Bearbeitung der Ressortforschung AG 3
Postfach 10 01 49
D-38201 Salzgitter
Tel.: (030) 18333 1520
Fax.: (030) 18333 1525

Bundesamt für Strahlenschutz
Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit
Fachliche Koordinierung der Ressortforschung im Bereich Strahlenschutz AG 2
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter
Tel.: (030) 18333-2111 oder -2119
Fax: (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 Bohrergergebnissen.

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-5/92

Herrmann, A.G.

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).

Lösungszuflüsse in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung. Eine Dokumentation.

Zweiter Bericht. Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1991. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-6/92

Bestandsaufnahme IMIS-IT.

Seminar zum Projektstand IMIS am 3. Mai 1991.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-7/92

Empfehlungen der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) 1987 - 1991 (Band 7).

Zusammengestellt von der RSK-Geschäftsstelle.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-8/92

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlußbericht zum ersten Teilprojekt.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-9/93

Grosche, B.; Burkart, W. (Editors)

Radiation epidemiology after the Chernobyl accident.

Proceedings of a workshop held at the Institute for Radiation Hygiene, Federal Office of Radiation Protection, Neuherberg, October 23-25, 1991

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-10/93

von Borstel, L.E.

Lösungen in marinen Evaporiten.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-11/93

Herrmann, A.G.

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).

Lösungsvorkommen in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft,

Entstehung.

Eine Dokumentation.

Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1992. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-12/93

IMIS-Statusgespräch.

Seminar zum Projektstand IMIS am 1. Februar 1993.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-13/94

Przyborowski, S.; Röhnsch, W.

ICRP-Publikation 65

über den Schutz gegenüber Radon-222 in Wohnung und an Arbeitsplätzen und die Situation in der Bundesrepublik Deutschland.

Salzgitter, 1994

BfS-SCHR-14/95

Kammerer, L.; Peter, J.; Burkhardt, J.; Trugenberger-Schnabel, A.; Bergler, I.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1992 und 1993. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, Dezember 1995

BfS-SCHR-15/96

Solare terrestrische UV-Strahlung in Deutschland.

Meßergebnisse und strahlenhygienische Bewertung der Daten aus dem UV-Meßnetz des BFS/UBA für den Zeitraum Januar bis Dezember 1994.

Salzgitter, März 1996

BfS-SCHR-16/98

Kammerer, L.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1994 bis 1995. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, März 1998

BfS-SCHR-17/98

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlußbericht zum zweiten Teilprojekt.

Salzgitter, März 1998

BfS-SCHR-18/98

Sonnek, C.

Die Euratom-Grundnormen für den Strahlenschutz 1996 und 1997.

Ausblick auf zukünftiges Strahlenschutzrecht in Deutschland.

Salzgitter, Juli 1998

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-19/99

Strahlenschutz und Sicherheit in der Medizin.

ICRP-Veröffentlichung 73.

Ein Bericht einer Arbeitsgruppe des Komitees 3 der Internationalen Strahlenschutzkommission.

Von der Kommission angenommen im März 1996.

Salzgitter, Mai 1999

BfS-SCHR-20/99

WORKSHOP

Strahlenüberwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhten Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten und Qualitätssicherung der Überwachungsmessungen.

22. bis 24. Juni 1998, Berlin.

Salzgitter, November 1999

BfS-SCHR-21/00

Kammerer, L.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1996 und 1997. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, Oktober 2000

BfS-SCHR-22/01

Ettenhuber, E.; Gehrcke, K.

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlussbericht.

Salzgitter, März 2001

BfS-SCHR-23/01 (ist nicht als Druck erschienen, nur im Internet)

Steinmetz, M.

UV-Index in practical use

Proceedings of an International Workshop

Institute of radiation hygiene, Munich, Germany, December 4-7, 2000

Salzgitter, 2001

BfS-SCHR-24/02

Peter J.; Schneider G.; Bayer A.; Trugenberger-Schnabel A.

High Levels of Natural Radiation and Radon Areas:

Radiation Dose and Health Effects

Proceedings of the 5th International Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas held in Munich, Germany on September 4 to 7 2000

Neuherberg, März 2002

BfS-SCHR-25/02

Brix, J.; Matthes, R.; Schulz, O.; Weiss, W.

Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks.

Bundesamt für Strahlenschutz

21. und 22. Juni 2001

Salzgitter, Juni 2002

BfS-SCHR-26/02

Bruchertseifer, F.; Pohl, H.

Fachgespräch

Begrenzung der Strahlenexposition als Folge von Störfällen bei kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen.

1. und 2. März 2001

Salzgitter, Juni 2002

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-27/03

Trugenberger-Schnabel, A.; Peter J.; Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1998 bis 2001
Daten und Bewertung
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz
Salzgitter, Januar 2003

BfS-SCHR-28/03

Walter, H.
2.Fachgespräch SODAR
19. u. 20. März 2003
Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit
Zusammenfassung der Vorträge
Salzgitter, Juni 2003

BfS-SCHR-29/03

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
- Programmreport 2001 -
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsgemäß begleitete
Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesumweltministeriums
Salzgitter, Juni 2003

BfS-SCHR-30/04

Lennartz, H.-A.; Mussel, Ch.; Thieme, M.
Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Standortauswahl für die Endlagerung radioaktiver Abfälle
Abschlussbericht
Salzgitter, April 2004

BfS-SCHR-31/04

Weiß, D.; Bönigke, G.; Spoden, E.; Warnecke, E.
Übersicht zu stillgelegten kerntechnischen Anlagen in Deutschland und in Europa – Januar 2004
Salzgitter, September 2004

BfS-SCHR-32/04

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2003
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete
Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2004

BfS-SCHR-33/05

Hartmann, M.; Beyer, D.; Dalheimer, A.; Hänisch, K.
Ergebnisse der In-vitro-Ringversuche: S-35 in Urin sowie Am-241 und Pu-Isotope in Urin
Workshop zu den In-vitro-Ringversuchen 2001 und 2002 der Leitstelle Inkorporationsüberwachung
des BfS am 1. Juli 2003 im Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, Kulmbach
Salzgitter, Januar 2005

BfS-SCHR-34/05 (nur als CD vorhanden)

Trugenberger-Schnabel, A.; Peter, J.; Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz
Daten und Bewertung für 2002 und 2003
Salzgitter, Juni 2005

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-35/05 (nur als CD vorhanden)

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2004

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete

Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Salzgitter, August 2005

BfS-SCHR-36/05 (nur als CD vorhanden)

Steinmetz, M.

200 Jahre solare UV-Strahlung

Geschichte und Perspektiven

Wissenschaftliches Kolloquium

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-37/05

Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-38/05

Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-39/06

Borrmann, F.; Brennecke, P.; Koch, W.; Kugel, K.; Rehs, B.; Steyer, S.; Warnecke, E.

Management of Decommissioning Waste in Germany

Contribution to the IAEA CRP on „Disposal Aspects of Low and Intermediate level Decommissioning Waste“! (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*

Gammastrahlungsmessung 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.; Trugenberger-Schnabel, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2006
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2007

BfS-SCHR-45/09

urn:nbn:de:0221-2009011200
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2007
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Januar 2009

BfS-SCHR-46/09

urn:nbn:de:0221-2009082120
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2008
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, November 2009

BfS-SCHR-47/09

urn:nbn:de:0221-2009082154
Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007
ICRP-Veröffentlichung 103, verabschiedet im März 2007
Deutsche Ausgabe
Salzgitter, November 2009

BfS-SCHR-48/10

urn:nbn:de:0221-201009153217
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, 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

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333 - 0

Telefax: + 49 30 18333 - 1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz