Strahlenschutzforschung

Programmreport 2019

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

Schriften

Bundesamt für Strahlenschutz

Redaktion:
Dr. Ulrike Kulka
Dr. Angelika Löbke-Reinl
Dr. Josef Peter
Angela Trugenberger-Schnabel
Daniela Merchel

BfS-SCHR-66/20

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

urn:nbn:de:0221-2020100623424

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

Salzgitter, Oktober 2020

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2019

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

Schriften

INHALT

1. ZUSAMMENFASSUNG XIII

1.1 VORBEMERKUNG XIII

1.2 EINFÜHRUNG XIII

1.3 ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE 2019 XIV

2. ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)

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

Leukämie im Kindesalter - Aufbau, Stabilisierung und ggf. Erweiterung eines internationalen Netzwerkes zur Ursachenforschung von Leukämien im Kindesalter; Erkenntnisgewinn durch internationale Vergleichsstudien 3
3614S30041

Charakterisierung von Exosomen nach In-vitro- und In-vivo-Bestrahlung als Marker der Strahlenexposition 8
3616S32260

2.2 THEMENBEREICH 04
MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Erhebung der Medizinischen Strahlenexposition in der Nationalen Kohorte 15
3616S42233

Bewertung des Einsatzes von Dosismanagement-Systemen zur Optimierung von Röntgen-anwendungen in verschiedenen Röntgeneinrichtungen 18
3616S42432

Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen radioaktiver Stoffe in der Nuklearmedizin und praktische Erprobung der Meldekriterien 22
3617S42332

Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen ionisierender Strahlung in der Röntgendiagnostik und interventionellen Radiologie und praktische Erprobung der Meldekriterien 28
3617S42333

Erfassung der Häufigkeiten und Expositionsparameter in der pädiatrischen Radiologie 32
3617S42441

Einweisung und Schulung medizinischen Personals in die sachgerechte Handhabung von Geräten zu diagnostischen Zwecken in der Radiologie und Nuklearmedizin (Evaluation der Ausbildungsqualität im Strahlenschutz (EDAQS)) 38
3617S42444

Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie 45
3618S42351

2.3 THEMENBEREICH 05
RADIOÖKOLOGIE

Experimentelle Bestimmung von Kd-Werten für endlagerrelevante Radionuklide und REFESOL-Böden .. *50*
3616S52530

2.4 THEMENBEREICH 06
NOTFALLSCHUTZ

Ausbau der wissenschaftlichen und der technischen Basis für die Aufgaben des Teams „Strahlenschutz“ im Notfallzentrum der GRS *56*
3616S62550

Umsetzung von Informationsstrategien und Konzepten in konkrete Handlungsempfehlungen und Informationsangebote unter Berücksichtigung moderner internetbasierter Kommunikationsformen *61*
3617S62555

Abschätzungen möglicher Freisetzungen radioaktiver Stoffe auf dem Wasserpfad bei KKW-Störfällen *66*
3617S62564

2.5 THEMENBEREICH 07
VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Entwicklung eines Dosimeters zur Messung der gesetzlichen Messgrößen Umgebungs-Äquivalentdosis H*(10) sowie Richtungs-Äquivalentdosis H'(0,07), insbesondere für eine Photonenenergie unterhalb von 30 keV *70*
3617S72384

Durchführung einer repräsentativen Erhebung im Jahr 2019 mit dem Titel "Was denkt Deutschland über Strahlung? Umfrage 2019" *73*
3619S72204

Untersuchung der Möglichkeiten des Einsatzes von Nudging im Strahlenschutz am Beispiel UV-Schutz . *78*
3619S72403

2.6 THEMENBEREICH 08
NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer *82*
3616S82430

Fachgespräch zur Risikobewertung und Risikowahrnehmung beim Stromnetzausbau *88*
3618S82450

Untersuchung der Machbarkeit und Vorbereitung einer gepoolten Analyse zum Zusammenhang von Amyotropher Lateralsklerose (ALS) und Magnetfeldexposition *94*
3618S82451

Überprüfung von Darstellungsformaten für Messergebnisse niederfrequenter Felder und deren Bedeutung für die Risikokommunikation *101*
3618S82452

Evaluierung der Botschaften und Texte des BfS aus dem Bereich des Stromnetzausbaus *108*
3618S82454

Umfragen zur Ermittlung der Besorgnis in der Bevölkerung.1. Welchen Stellenwert haben Magnetfelder in der öffentlichen Wahrnehmung des Stromnetzausbaus? Eine deutschlandweite Befragung *115*
3618S82460

Internationaler Workshop zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf die belebte Umwelt 121
3619I02420

3. STATUSBERICHTE

3.1 THEMENBEREICH 01
NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Fünftes Mortalitäts-Follow-Up (Todesursachen-Recherche) der Kohorte von ca. 60.000 Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2018 127
3618S12222

Ermittlung der Unsicherheit in der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte - Teil 2 129
3618S12223

Ermittlung der aktuellen Verteilung der Radonkonzentration in deutschen Wohnungen 132
3618S12261

Fortentwicklung von Programmen und Codes zur Modellierungen des Verhaltens von Radon am Arbeitsplatz und Validierung der Codeanpassung 134
3618S12362

Entwicklung von Indikatoren in einem Kriterienkatalog und Durchführung einer Ersterhebung zur Feststellung der Ist-Situation für die Bewertung des nationalen Radonmaßnahmenplans 137
3619S12272

3.2 THEMENBEREICH 02
STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Studie über die Notwendigkeit, Möglichkeit und Machbarkeit der Ablösung von hochradioaktiven Strahlenquellen durch alternative Technologien in Deutschland 140
3618S22363

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

Strahlenresistenzmechanismen in Tumorstammzellen 145
3616S32262

Einfluss von Niedrigdosisstrahlung auf die Leukämieentwicklung bei genetischer Prädisposition in einem Mausmodell 148
3618S32274

Bestimmung der Frequenz präleukämischer Translokationen in Nabelschnurblut 151
3618S32275

3.4 THEMENBEREICH 04
MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm 155
3617S42402

Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren 158
3617S42443

Erfassung der Häufigkeit von Strahlentherapien in Deutschland 161
3618S42434

Konzept zur Umrechnung dosisrelevanter Parameter in der digitalen Volumentomographie 164
3619S42462

3.5 THEMENBEREICH 05
RADIOÖKOLOGIE

Freigabekonzepte einer neuen Strahlenschutzverordnung nach EURATOM-Grundnormen 2013 in der Anwendung 168
4717E03510

Erfassung der aktuellen Kontaminationssituation bei Wildschweinen in Deutschland 171
3617S52531

Evaluierung des aktuellen Standes bei der Überwachung der Ableitung von radioaktiven Stoffen mit der Fortluft und dem Abwasser in Medizin und Industrie 174
3619S52560

3.6 THEMENBEREICH 06
NOTFALLSCHUTZ

Ergänzung der Quelltermdatenbank des Entscheidungshilfesystems RODOS für Freisetzungen aus dem RDB bei Nichtleistungsbetriebszuständen in Kernkraftwerken 178
3617S62560

Überarbeitung des Maßnahmenkatalogs unter Berücksichtigung von Erfahrungen nach dem Unfall in Fukushima sowie von internationalen Entwicklungen in den letzten Jahren 183
3618S62571

Entwicklung geeigneter Schulungskonzepte für Einsatzszenarien im Radiologischen Lagezentrum zur Optimierung der psychischen und fachlichen Verfasstheit und rollenbezogenen Kompetenzentwicklung 187
3618S62572

Ermittlung der Informations- und Schutzbedürfnisse von Einsatzkräften im Notfallschutz; Ableitung von Empfehlungen zur Verbesserung der Ausbildung, Information und Kommunikation 190
3618S62573

Erarbeitung eines Konzeptes und dessen Umsetzung für die Vernetzung zwischen dem Notfallzentrum der GRS und dem BfS-Lagezentrum Neuherberg 193
3618S62574

Entwicklung ausführlicher Abfallkataster aus radiologischer Sicht für alle im allgemeinen Notfallplan des Bundes beschriebenen Referenzszenarien zur Vorbereitung der Evaluierung des besonderen Notfallplans des Bundes „Abfälle“ 196
3618S62575

3.7 THEMENBEREICH 07
VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Weiterentwicklung des atmosphärischen Ausbreitungsmodells ARTM bezüglich weiterer Anwendungsbereiche, Windfeld- und Grenzschichtmodell, Dokumentation 200
3616S72575

Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) bzw. aus dem K967 des DKE 203
3617S72381

Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition bei der mobilen Radiographie 207
3617S72382

Studie zu Aktivitäts- und Partikelgrößenverteilungen im Nano- und Millimeterbereich in der Fortluft kerntechnischer Anlagen mit und ohne Vollfilterung 211
3617S72572

Erweiterung und Aktualisierung von ProZES (Programm zur Berechnung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit zwischen einer Erkrankung und einer Strahlenexposition) 215
3618S72230

Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG und standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle 218
3618S72392

Machbarkeitsstudie zur mikroskaligen Modellierung von UV-Belastungen in urbanen Umgebungen für verschiedene Bevölkerungsgruppen zur Hautkrebsprävention 221
3618S72490

Validierung des atmosphärischen Ausbreitungsmodells ARTM durch experimentelle Untersuchungen .. 224
3618S7259A

3.8 THEMENBEREICH 08 NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell) 228
3616S82440

Erfassung der Magnetfeldexposition der allgemeinen Bevölkerung 231
3616S82442

Bewertende Literaturstudie zum Auftreten, zur Ausbreitung und zu gesundheitlichen Auswirkungen von ionisierten Schadstoffpartikeln in der Umgebung von Starkstromleitungen 234
3618S82453

Bewertende Literaturstudie zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf oxidative Prozesse bei Menschen sowie in Tier- und Laborstudien 237
3619S82464

Detaillierte vergleichende Analyse der Alters- und Geschlechtsabhängigkeit des Einflusses hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit 240
3619S82465

3.9 THEMENBEREICH 09 DEUTSCHES MOBILFUNK FORSCHUNGSPROGRAMM / STROMNETZAUSBAU

Untersuchung der Möglichkeiten einer Fortbildung von Multiplikatoren in lokalen Behörden (Gesundheitsämter, Amtsärzte und Immissionsschutzämter) für die Risikokommunikation beim Stromnetzausbau 245
3619S92412

Nutzung von Mobiltelefonen und Verlauf der Gliom-Inzidenz seit 1979 248
FM 8867

4. 2019 BEGONNENE FORSCHUNGSVORHABEN, ZU DENEN NOCH KEINE ERGEBNISSE VORLIEGEN

4. Research projects initiated in 2019 of which results are not available yet

Bestimmung von Strahlenschutzszenarien als Voraussetzung für eine nachhaltige Gewährleistung des Strahlenschutzes beim Umgang mit Ultrakurzpuls-Lasern (UKP-Laser) u. a. zur Unterstützung eines einheitlichen Vollzugs 252
3619S22370

Verlängerung der Nachbeobachtungszeit in der REQUITE-Studie zu Nebenwirkungen und Biomarkern für Strahlenempfindlichkeit bei Strahlentherapiepatienten 253
3619S42261

Bestimmung von Mindestanforderungen an Bildqualität und Dosis in der Brusttomosynthese 254
3619S42363

Modellierung von Hydrodynamik und Stofftransport bei wassergebundenen Transportprozessen im Strahlenschutz unter Berücksichtigung der Freigabe schwach radioaktiver Stoffe 255
3618E03510

Überprüfung und Weiterentwicklung des radiologischen Lagebildes als Grundlage für Information und Kommunikation im radiologischen Notfallschutz 256
3619S62580

Unterstützung der RLZ-Kopfstelle beim BMU und des Lagezentrums BfS-Neuherberg bei RLZ-Notfallübungen 257
3619S62581

Repräsentative Umfrage zur deutschlandweiten Erfassung verhältnispräventiver Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen bei Kindertagesstätten und Schulen 258
3619S72401

Möglichkeiten des Zuschnitts von Risikoinformationen im Strahlenschutz auf unterschiedliche Zielgruppen im Internet 259
3619S72402

Berücksichtigung aktueller Mobilfunkantennentechnik bei der HF-EMF-Expositionsbestimmung 260
3619S82463

Machbarkeitsstudie eines auf Smartphone-Apps beruhenden Hochfrequenz-Messnetzwerkes zur Abschätzung der Exposition der Bevölkerung mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks 261
3619S82468

Wirkungen auf Zellen der Körperoberfläche bei Expositionen mit Zenti- und Millimeterwellen (5G-Frequenzen) 262
3619S82470

Erprobung, Weiterentwicklung und Validierung von neuartiger Messtechnik für statische und niederfrequente elektrische und magnetische Felder 263
3619S92411

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen 264

Abkürzungen 268

Kontaktadressen 269

CONTENT

1. SUMMARY XXI

1.1 PREFACE XXI

1.2 INTRODUCTION XXI

1.3 SUMMARY OF RESULTS FROM RECENT RESEARCH PROJECTS XXII

2. RESULTS (FINAL REPORTS)

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

Childhood leukaemia - establishment, consolidation and possible extension of an international network for the study of causes of childhood leukaemia; Comparisons of international studies 3
3614S30041

Characterisation of exosomes after in vitro and in vivo irradiation as biomarker for radiation exposure..... 8
3616S32260

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

Survey of medical radiation exposure in the German National Cohort..... 15
3616S42233

Evaluation of the implementation of dose-management-systems used for optimising diagnostic X-ray applications in different facilities 18
3616S42432

Operational handling of (significant) incidents in medical applications of radioactive material in nuclear medicine and practical testing of reporting criteria 22
3617S42332

Operational handling of (significant) incidents in medical applications of ionising radiation in diagnostic radiology and interventional radiology as well as practical experience of the reporting criteria 28
3617S42333

Collecting relative frequencies and assessing radiation doses of pediatric radiology procedures involving ionising radiation..... 32
3617S42441

Instruction and training of medical staff for the proper handling of diagnostic imaging modalities in radiology and nuclear medicine (Evaluation of the quality of education in radiation protection (EDAQS)) 38
3617S42444

Preparation and revision of technical standards for radiation protection and quality assurance in medical radiology 45
3618S42351

2.3 SUBJECT AREA 05
RADIOECOLOGY

Experimental determination of Kd-values for final repository relevant radionuclides and REFESOL-soils 50
3616S52530

2.4 SUBJECT AREA 06
EMERGENCY MANAGEMENT

Enhancement of the scientific and technical basis for the tasks of the team "Radiation Protection" within GRS' emergency center **56**
3616S62550

Conversion of information strategies and concepts into concrete recommendations for action and information offerings, taking into account modern internet-based forms of communication **61**
3617S62555

Estimation of possible releases of radioactive material on water paths during NPP-accidents **66**
3617S62564

2.5 SUBJECT AREA 07
PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Development and design of a dose meter resp. dose rate meter for dose-equivalent H(10) and H'(0.07), in particular for photon energies less than 30 keV* **70**
3617S72384

Realisation of a representative survey in 2019 entitled "What does Germany think about radiation? Survey 2019" **73**
3619S72204

Investigation of the possibilities of using nudging in radiation protection by way of example of UV protection **78**
3619S72403

2.6 SUBJECT AREA 08
NON-IONISING RADIATION

Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly men **82**
3616S82430

Expert talk on risk evaluation and risk perception regarding the extension of the electricity grid **88**
3618S82450

Assessment of feasibility and preparation of a pooling study on the relationship between amyotrophic lateral sclerosis (ALS) and exposure to magnetic fields **94**
3618S82451

Investigation of presentation formats for results of low-frequency field measurements and their relevance to risk communication **101**
3618S82452

Evaluation of messages and texts published by the BfS with regards to energy grid expansion **108**
3618S82454

Surveys of concerns in the public. What significance do magnetic fields have in the public perception of the extension of the high-voltage power grid? An overall German survey **115**
3618S82460

International Workshop: Environmental effects of electric, magnetic, and electromagnetic fields: Flora and fauna **121**
3619I02420

3. STATUS REPORTS

3.1 SUBJECT AREA 01
NATURAL RADIATION EXPOSURE

Fifth mortality follow-up of the cohort of approximately 60,000 former Wismut employees with cut-off date December 31st, 2018 ..... **127**
3618S12222

Determination of uncertainties of radiation exposure assessment in the Wismut cohort - part 2 ..... **129**
3618S12223

Determination of the distribution of indoor radon concentration in Germany **132**
3618S12261

Code development and validation in order to model the radon distribution at workplaces **134**
3618S12362

Development of indicators in a catalogue of critera and initial survey of the actual situation of the national radon action plan **137**
3619S12272

3.2 SUBJECT AREA 02
RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Study about the necessity, possibility and feasibility to supplant technologies using high-activity sealed sources with alternative technologies (not using ionising radiation) **140**
3618S22363

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

Mechanisms of radioresistance in cancer stem cells **145**
3616S32262

Influence of low-dose radiation on leukemia development in a genetically predisposed mouse model ... **148**
3618S32274

Determination of the frequency of preleukemic translocations in umbilical cord blood **151**
3618S32275

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

Evaluation of the breast cancer mortality in the German mammography-screening-program **155**
3617S42402

Survey to determine frequency and radiation dose from nuclear medical diagnostics **158**
3617S42443

Recording the frequency of radiotherapy in Germany **161**
3618S42434

Development of a concept to convert dose quantities on cone beam computed tomopraphy scenarios . **164**
3619S42462

3.5 SUBJECT AREA 05 RADIOECOLOGY

Concepts for clearance according to a new radiation protection ordinance based on the Euratom Basic Safety Standards of 2013 in practice **168**
4717E03510

Assessment of contamination levels of wild boar (Sus scrofa) in Germany **171**
3617S52531

Evaluation of the current status in monitoring the discharge of radioactive substances with the exhaust air and water in medicine and industry **174**
3619S52560

3.6 SUBJECT AREA 06 EMERGENCY MANAGEMENT

Extension of the source term data bank of the decision support system RODOS for the release from the RPV during shutdown modes **178**
3617S62560

Revision of the Catalog of Protective Measures taking into account experiences after the Fukushima accident and international developments in recent years **183**
3618S62571

Design of specific training concepts for competence development in the context of operational scenarios in the Federal Radiological Situation Centre **187**
3618S62572

Identification of information and safety needs among emergency responders; Derivation of recommendations to improve education, information and communication **190**
3618S62573

Development of a concept and its implementation for the networking between the Emergency centre of GRS and the BfS situation centre in Neuherberg **193**
3618S62574

Development of detailed radiological waste registers for all reference scenarios described in the general emergency plan of the Federal Government of Germany for the preparation of the evaluation of the special emergency plan **196**
3618S62575

3.7 SUBJECT AREA 07
PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Enhancement of the atmospheric dispersion model ARTM considering additional areas of application, wind field and boundary layer models, and documentation **200**
3616S72575

Revision of technical radiation protection standards in the range of the Materials Testing Standards Committee (NMP) and from the working group K967 of the German Commission on Electrical Engineering **203**
3617S72381

Survey of activity-related occupational dose exposure during mobile radiography **207**
3617S72382

Study on the distribution of activity and particle sizes in the nano- and millimetre range in gaseous effluents from nuclear installations with and without filter **211**
3617S72572

Extension and update of ProZES (program for assessement of assigned share between cancer and radiation exposure) **215**
3618S72230

Update of the investigation and evaluation of task-related radiation exposure in nuclear facilities and on-site interim storage facilities for radioactive waste **218**
3618S72392

Feasibility study for micro-scale modelling of UV exposure in urban for skin cancer prevention of different population groups **221**
3618S72490

Validation of atmospheric dispersion model ARTM by field studies **224**
3618S7259A

3.8 SUBJECT AREA 08
NON-IONISING RADIATION

Childhood leukemia - influence of the immune system on the development of the disease (experimental study in a suitable animal model) **228**
3616S82440

Evaluation of the magnetic field exposure of the general population **231**
3616S82442

Study and evaluation of literature on occurrence, spread and health effects of ionised pollutant particles in the vicinity of power lines **234**
3618S82453

Assessed literature study on the influence of electric, magnetic and electromagnetic fields on oxidative processed in humans as well as in animal and laboratory studies **237**
3619S82464

Detailed comparative analysis of age and sex related effects of radiofrequency electromangnetic fields from mobile telephony devices on brain activity, sleep and cognitive performance **240**
3619S82465

3.9 SUBJECT AREA 09
GERMAN MOBILE TELECOMMUNICATION RESEARCH PROGRAMME / NATIONAL GRID EXPANSION

Analysis of the possibilities of an advanced training for multipliers in local authorities (public health departments, public health officers and immission control offices) for risk communication during the expansion of the electricity grid. 245
3619S92412

The use of mobile phones and the development of glioma incidence since 1979 248
FM 8867

4. Research projects initiated in 2019 of which results are not available yet

Determination of radiation protection scenarios as a prerequisite for a sustainable guarantee of radiation protection when using ultra-short pulse lasers (UKP lasers), inter alia to support uniform enforcement . 252
3619S22370

Extension of the follow-up in the REQUITE study on side effects and biomarkers for radiation sensitivity in radiotherapy patients 253
3619S42261

Determination of minimum requirements for image quality and dose in breast tomosynthesis..... 254
3619S42363

Modelling of hydrodynamics and mass transport in water-bound transport processes in radiation protection under consideration of the release of low-level radioactive substances..... 255
3618E03510

Review and further development of the radiological situation report as basis for information and communication in radiological emergency management..... 256
3619S62580

Support of the RLZ head office at the BMU and the situation centre BfS-Neuherberg during RLZ emergency exercises..... 257
3619S62581

Representative survey to record structural measures for the prevention of UV-induced diseases in childcare facilities and schools in Germany..... 258
3619S72401

Possibility for tailoring risk information in radiation protection to different target groups on the internet.. 259
3619S72402

Consideration of current mobile radio antenna technology for RF-EMF exposure assessment..... 260
3619S82463

Feasibility study of a high-frequency measurement network based on smartphone apps for estimating the exposure of the population to electromagnetic fields of mobile radio..... 261
3619S82468

Effects of centi- and millimeter wave exposure (5G fequencies) on cells of the body surface..... 262
3619S82470

Development and validation of new measurement techniques for the measurement of static and low frequency electric fields..... 263
3619S92411

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen 264

Abbreviations 268

1. ZUSAMMENFASSUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) vergibt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) Forschungsvorhaben auf dem Gebiet des Strahlenschutzes. Die Ergebnisse dieser Vorhaben dienen als Entscheidungshilfen bei der Erarbeitung von Strahlenschutzvorschriften und bei der Erfüllung sonstiger Fachaufgaben im Bereich Strahlenschutz. Die Planung, fachliche und administrative Vorbereitung, Vergabe, Begleitung sowie fachliche Bewertung der Ergebnisse der Untersuchungsvorhaben ist grundsätzlich Aufgabe des Bundesamtes für Strahlenschutz. Der vorliegende Bericht informiert über Ergebnisse (in Form von Abschlussberichten) bzw. Zwischenergebnisse (in Form von Statusberichten) von Strahlenschutzvorhaben des BMU-Ressortforschungsplans, die im Jahr 2019 erzielt wurden.

1.1 Vorbemerkung

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

1.2 Einführung

Im Folgenden werden alle **Themenbereiche** (TB) der Strahlenschutzforschung näher erläutert, auch wenn 2019 keine Vorhaben in einem Bereich durchgeführt wurden.

Eine vordringliche Aufgabe besteht darin, die **zivilisatorische und natürliche Strahlenexposition** (TB 01) von Mensch und Umwelt zu erfassen und zu bewerten. So müssen etwa Anreicherungsprozesse natürlicher radioaktiver Stoffe (z. B. Radon) oder Entwicklungstendenzen bei der zivilisatorischen Nutzung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung rechtzeitig erkannt und bewertet werden, damit frühzeitig mit geeigneten Maßnahmen einer Gefährdung von Mensch und Umwelt entgegengewirkt werden kann.

Eine Voraussetzung für viele Untersuchungen, aber auch für den Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte, ist die Verfügbarkeit entsprechender Messtechniken und Verfahren zur Dosisermittlung. Die vielfältigen und komplizierten Messaufgaben der **Strahlenschutztechnik** (TB 02) führen dazu, dass bestehende Messsysteme verbessert, neue Systeme entwickelt sowie dosimetrische Modelle und Daten ständig überprüft und angeglichen werden müssen.

Die Strahlenschutzverordnung enthält Grenzwerte für den Schutz von Einzelpersonen in der Bevölkerung und für den Schutz beruflich strahlenexponierter Personen. Diese Grenzwerte basieren auf wissenschaftlichen Erkenntnissen, die im Interesse eines möglichst umfassenden Strahlenschutzes ständig zu aktualisieren und dem Stand naturwissenschaftlicher und medizinischer Forschung anzupassen sind. Die **biologische Reaktion auf ionisierende und nichtionisierende Strahlung** (TB 03) kann individuell sehr unterschiedlich sein und muss deshalb weiter untersucht und bewertet werden. Insbesondere müssen Verfahren zur Erkennung individueller **Strahlenempfindlichkeit** weiterentwickelt werden.

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

Da die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung zum überwiegenden Teil durch die **medizinische Strahlenexposition** (TB 04) moderner Diagnosemethoden bestimmt wird, ist diese ein weiterer Schwerpunkt der Projekte im BMU-Umweltforschungsplan 2019. Hier kommt es vor allem darauf an, dass der gesundheitliche Nutzen einer Anwendung am Menschen gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegt. Nutzen und Risiken von Untersuchungsverfahren sind abzuwägen, nach risikoärmeren Alternativverfahren ist zu suchen und die Strahlenexposition ist durch geeignete Verfahren zu reduzieren.

Für die Abschätzung der Strahlenexposition von Einzelpersonen in der Bevölkerung ist es wichtig zu wissen, wie sich radioaktive Stoffe in der Umwelt verhalten, wie sie sich in Luft und Wasser ausbreiten, in den verschiedenen Ökosystemen anreichern und über die Ernährungsketten auf den Menschen einwirken. Deshalb werden Detailkenntnisse der **Radioökologie** (TB 05) benötigt.

Überall, wo mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung gearbeitet wird, kann es auf Grund menschlichen und/oder technischen Versagens zu Zwischenfällen kommen, bei denen radioaktive Stoffe freigesetzt und/oder Personen Strahlung ausgesetzt werden. Deshalb ist die Ermittlung und Optimierung von Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung von Störfällen und Unfällen eine ständige Aufgabe des BfS. Der **Notfallschutz** (TB 06) ist ständig zu verbessern und die Effektivität der Schutzmaßnahmen bis hin zu medizinischen Maßnahmen im Falle einer schädigenden Exposition ist laufend zu optimieren.

Darüber hinaus werden in einer Reihe von Vorhaben Fragen von **allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz** (TB 07) 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** (TB 08) geführt.

Im **Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF)** (TB 09) wurden in systematischen Untersuchungen Wirkungen der verschiedenen Anwendungen nichtionisierender Strahlung auf den Menschen weiter erforscht. Die Untersuchungsvorhaben des DMF lagen schwerpunktmäßig in den Bereichen Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation. Ein ähnliches Programm wurde für den **Stromnetzausbau** initiiert. Die Vorhaben, die sowohl vom Bundesumweltministerium als auch den Betreibern der Mobilfunk- bzw. Stromnetze in Deutschland finanziert wurden, wurden allein vom BfS vergeben und fachlich betreut, so dass interessensgesteuerte Einflüsse ausgeschlossen waren.

1.3 Zusammenfassung der Forschungsergebnisse 2019

Im Folgenden wird über Ergebnisse im Jahr 2019 abgeschlossener Forschungsvorhaben berichtet:

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

Im Rahmen der Fortführung des Netzwerks GALnet ("Global Acute Leukaemia network") wurden mit Hilfe der Förderung des Bundesamtes für Strahlenschutz zwei Projekte initiiert und weitestgehend durchgeführt sowie die technische Zielsetzung mit der Fortführung der Website des Netwerks erfüllt. Beim ersten Projekt handelt es sich um eine systematische Aufbereitung der Situation zu Diagnostik und Behandlung von Kinderkrebs in verschiedenen Teilen der Welt sowie deren Barrieren und Herausforderungen. Dies trägt zu einem besseren Verständnis geographischer Unterschiede von Neuerkrankungen von Kinderkrebs bei, der vermutlich zu einem großen Teil durch unzureichend ausgestattete Gesundheitssysteme erklärt werden kann. Bei einer ätiologisch orientierten Interpretation geographischer Unterschiede ist Vorsicht geboten, insbesondere wenn dies über Grenzen von Regionen mit unterschiedlichem Human Development Index erfolgt. Im Rahmen des Projektes **„Leukämie im Kindesalter - Aufbau, Stabilisierung und ggf. Erweiterung eines internationalen Netzwerkes zur Ursachenforschung von Leukämien im Kindesalter; Erkenntnisgewinn durch internationale Vergleichsstudien“ (3614S30041)** wurde eine Sonderausgabe der wissenschaftlichen Fachzeitschrift „Cancer Epidemiology“ aufgesetzt, in welcher diese Ergebnisse in einer Serie von Review-Artikeln zusammen getragen wurden. In einem zweiten Projekt wurde eine Literaturarbeit durchgeführt, in welchem Messreihen zu häuslicher Magnetfeldexposition von Kindern in *Low-Middle-Income Countries* (LMIC) gesichtet wurden. Hierbei zeigte sich vor allem eine erschreckend dünne Datenlage. Insgesamt wurden lediglich 26 Arbeiten identifiziert, welche nur einen geringen Bruchteil der LMIC-Populationen abdeckten. Zudem fanden sich selbst in diesen Arbeiten teilweise nur eine geringe Anzahl Kinder und wenige Messungen im Wohnumfeld. Weiterhin zeigte sich innerhalb der Studien keine standardisierte Messmethodik, so dass Ergebnisse nur qualitativ vergleichbar sind. Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass über häusliche Expositionen

von Kindern gegenüber 50-60 Hz Magnetfeldern außerhalb der Studien in Europa, Nordamerika und Australien de facto nichts bekannt ist.

Exosomen sind eine Klasse extrazellulärer Vesikel, die von den allermeisten Zelltypen freigesetzt werden. Sie enthalten Proteine, Lipide und Nukleinsäuren. Zunächst wurden Exosomen lediglich als Instrumente zur Ausschleusung zellulärer Bestandteile gesehen. Mittlerweile ist aber auch bekannt, dass Exosomen von anderen Zellen aufgenommen werden, deren Phänotyp beeinflussen und somit ein Element der Zell-Zell-Kommunikation darstellen. Im Projekt **„Charakterisierung von Exosomen nach in vitro und in vivo Bestrahlung als Marker der Strahlenexposition“ (3616S32260)** wurden durch ionisierende Strahlung (0,1, 2 und 6 Gy) induzierte Veränderungen in der Protein- und microRNA-Zusammensetzung von Exosomen aus verschiedenen nicht-malignen Zellen nach in vitro Bestrahlung identifiziert (primäre Lymphozyten, Fibroblasten, Endothel- und Epithelzellen). Dabei bezogen sich die Proteinveränderungen sowohl auf Proteine in den Exosomen als auch auf deren Oberfläche. Um diese Ergebnisse In-vivo-Daten gegenüberzustellen wurden Kandidatenproteine und microRNAs in Exosomen aus dem Blut von Strahlentherapiepatienten untersucht. Die sowohl in den In-vitro- als auch in den In-vivo-Versuchen identifizierten Kandidaten stellen aussichtsreiche Zielstrukturen für Biomarker nach Strahlenexposition dar. Interessanterweise zeigen die strahleninduzierten Änderungen in der Beladung deutliche Unterschiede nach den verschiedenen Dosen, was auf unterschiedliche Kommunikationsprozesse im *low-dose* und *high-dose* Bereich hindeutet. Um dies detaillierter zu analysieren, sollten potenzielle funktionelle Unterschiede von Exosomen aus unterschiedlich bestrahlten und nichtbestrahlten Zellen in einem Folgeprojekt abgeschätzt werden.

THEMENBEREICH 04 - MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Im Rahmen des Forschungsvorhabens **„Erhebung der Medizinischen Strahlenexposition in der Nationalen Kohorte“ (3616S42233)** wurde an vier Studienzentren der prospektiven NAKO Gesundheitsstudie (NAKO) bei insgesamt 3923 Studienteilnehmenden die medizinische Strahlenexposition sowie die jeweilige selbstberichtete Indikation der Untersuchung retrospektiv und in zwei Follow-up-Befragungen prospektiv erfasst. Die Teilnahmerate betrug 79,4 % bei Basisuntersuchung bezogen auf alle NAKO-Studienteilnehmenden der Zentren. Zwei Drittel aller Studienteilnehmenden gaben an, mindestens eine radiologische Untersuchung in der Vergangenheit erhalten zu haben, darunter insbesondere CT und allgemeine Röntgenuntersuchungen. Im Rahmen des Follow-up wurden von knapp einem Drittel der Studienteilnehmenden weitere Untersuchungen berichtet. Die berichteten Indikationen unterschieden sich je nach Altersgruppe, häufig wurden Stürze/Verletzungen und Schmerzen, z. B. der Wirbelsäule, genannt. Insgesamt konnte die Erhebung der medizinischen Strahlenexposition in den vier NAKO-Studienzentren erfolgreich umgesetzt werden.

Das Vorhaben zur **„Bewertung des Einsatzes von Dosismanagement-Systemen (DMS) zur Optimierung von Röntgenanwendungen in verschiedenen Röntgeneinrichtungen“ (3616S42432)** in der Röntgendiagnostik und interventionellen Radiologie betrachtet deren Handhabung in Hinblick auf Optimierung von Röntgenanwendungen sowie die Einhaltung von Dosisreferenzwerten (DRW) und internen Dosisschwellen. Dabei werden nötige Prozessabläufe untersucht und erfasste Expositionsdaten analysiert. Erkenntnisse zur Nutzung und Integration eines DMS in Praxen und Krankenhäusern werden in Form eines Leitfadens für Anwender und Betreiber zusammengetragen.

Das auf Basis der 2013/59/EURATOM erlassene Strahlenschutzrecht fordert den Umgang mit Vorkommnissen. Mit dem Ziel praxistaugliche Kriterien für Vorkommnisse zu spezifizieren sowie ein System zur Erfassung und Bearbeitung von Vorkommnissen in nuklearmedizinischen Einrichtungen in Deutschland zu entwickeln und im Rahmen einer Anwendungsstudie zu testen, wurde das Vorhaben **„Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen radioaktiver Stoffe in der Nuklearmedizin und praktische Erprobung der Meldekriterien“ (3617S42332)** durchgeführt. Die Dokumentation erfolgte mittels einer im Projektrahmen entwickelten Software. In 13 Einrichtungen wurden über einen Zeitraum von zwölf Monaten 66 Vorkommnisse dokumentiert. Die Vorkommnisse wurden hinsichtlich der Tätigkeitsfelder, in denen sie auftraten, sowie der Ursachen analysiert. Allgemeine Fragen zum Nutzungsverhalten wurden erfasst.
Ergänzend zu den konkreten Arbeiten erfolgten zwei kritische Auseinandersetzungen mit der Materie. Die eine beschäftigt sich mit der Möglichkeit der zuständigen Behörden einen rechtskonformen Umgang mit Vorkommnissen zu prüfen. Es zeigte sich, dass es auf Grund der spezifischen Arbeitsweisen innerhalb der Nuklearmedizin als eher problematisch anzusehen ist, eine suffiziente Prüfung durchzuführen. Weiterhin wurden

die in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) enthaltenen Kriterien für bedeutsame Vorkommnisse vor dem Hintergrund der internationalen Literatur sowie der Erfahrungen der Anwendungsstudie kritisch reflektiert.

Die Richtlinie 2013/59/EURATOM sieht in Artikel 63 vor, dass „das Unternehmen die zuständige Behörde so bald wie möglich über das Eintreten bedeutsamer Ereignisse … unterrichtet". Im Deutschen Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 wurde diese Forderung in § 90 aufgenommen. Innerhalb der Strahlenschutzverordnung sind in Anlage 14 und 15 Kriterien für die Bedeutsamkeit eines Vorkommnisses spezifiziert. Das Ziel des Vorhabens **„Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen ionisierender Strahlung in der Röntgendiagnostik und interventionellen Radiologie und praktische Erprobung der Meldekriterien" (3617S42333)** war die systematische Erfassung und Bewertung von (bedeutsamen) Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen ionisierender Strahlung in der Röntgendiagnostik (einschließlich Zahnheilkunde) und der interventionellen Radiologie, unter Berücksichtigung der vereinbarten Meldekriterien. Es war hierdurch beabsichtigt, die Anwendbarkeit der Meldekriterien im klinischen Betrieb zu prüfen sowie Möglichkeiten der praktischen Implementierung einer Erfassung von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen zu erarbeiten.

Ziel der Studie **„Erfassung der Häufigkeiten und Expositionsparameter in der pädiatrischen Radiologie" (3617S42441)** war es, häufige Eingriffe in der pädiatrischen Radiologie mit ionisierender Strahlung in Deutschland zu identifizieren und ausgewählte technische Parameter zu erheben, die die Strahlendosis beeinflussen. Die Ergebnisse können dabei helfen, diagnostische Referenzwerte (DRW) in der pädiatrischen Radiologie neu festzulegen. Das Ziel war es, in 50 ärztlichen Einrichtungen Daten aus dem Zeitraum 1.7.2016 bis 30.6.2018 zu erfassen. Zur Datenerherbung konnten die Teilnehmer mit Hilfe einer neu entwickelten Software automatisch Exporte aus einem Bildarchivierungs- und Kommunikationssystem (PACS) erstellen. Alternativ lieferten die Teilnehmer Exporte aus einem Dosismanagementsystem (DMS), aus einem radiologischen Informationssystem (RIS) oder füllten manuell eine Excel-Vorlage aus. Studien- und Serienbeschreibungen wurden auf Standarduntersuchungen abgebildet. Für jede dieser Untersuchungen wurde die Verteilung der technischen Parameter und Dosiswerte nach Altersgruppe und Geschlecht geschichtet charakterisiert. Es wurden Daten von 8539 CT-Serien, 98 540 konventionellen radiologischen Untersuchungen und 3810 fluoroskopischen Untersuchungen gesammelt. Ein exemplarisches Ergebnis beruhte auf Daten von 3128 Thorax-CTs von 584 Patienten im Alter von 10 bis 14 Jahren. In dieser Stichprobe lag das dritte Quartil der Verteilung bei 2,6 mGy für CTDIvol und 81 mGy*cm für DLP - erheblich niedriger als bei dem aktuellen DRW, der 6,5 mGy bzw. 200 mGy*cm spezifiziert. Die Ergebnisse zeigen, dass in teilnehmenden Einrichtungen die dosisrelevanten Parameter für pädiatrische Radiologieuntersuchungen im Allgemeinen die bestehenden DRW erfüllen und häufig darunter liegen.

Im Projekt **„Einweisung und Schulung medizinischen Personals in die sachgerechte Handhabung von Geräten zu diagnostischen Zwecken in der Radiologie und Nuklearmedizin (Evaluation der Ausbildungsqualität im Strahlenschutz (EDAQS))" (3617S42444)** sollte die Ausbildungsqualität im Strahlenschutz evaluiert und konkrete Vorschläge zur Verbesserung der Ausbildungssituation erarbeitet werden. Die Evaluation umfasste die Visitation von Strahlenschutzkursen (Grundkurs, Spezialkurs, Aktualisierung) sowie von Einweisungen zur Inbetriebnahme neuer Geräte. Außerdem wurden Gerätehersteller sowie Fachgesellschaften befragt. Vorgehen und Ergebnisse wurden in mehreren Workshops mit Experten aus unterschiedlichen Fachrichtungen diskutiert. Für die Neuordnung von Strahlenschutzkursen sind verschiedene Konzepte entwickelt worden. Diese umfassen neue Kursstrukturen mit verkürzter Anwesenheit und stärkerer Zielgruppenorientierung bei den Inhalten. Es wurden zusätzlich Gegenstandskataloge für die neu gestalteten Kurse erstellt. Für Ersteinweisungen wurden Lösungsstrategien für die in der Evaluation beobachteten Probleme entwickelt. Diese wurden übersichtlich in einem Leitfaden zusammengefasst und können mit den erarbeiteten Inhalten auch als Checkliste für Anwender und Einweiser dienen.

Die bis Jahresende 2018 gültige Röntgenverordnung (RöV) wurde im Zuge der Modernisierung des deutschen Strahlenschutzrechtes gemäß Richtlinie 2013/59/EURATOM durch die neue Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) sowie das neue Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) ersetzt. Die Anpassung des Normenwerks an die neuen Gegebenheiten erforderte primär die Ersetzung der RöV als Verweisquelle. In diesem Zusammenhang wurde auch die Aktualität der einzelnen Normen bzw. deren Entsprechung zum Stand der Technik überprüft. Bereits laufende Normprojekte - die Überprüfung des Normenwerkes ist ein turnusmäßiger Prozess - wurden dabei priorisiert, um die Veröffentlichung nicht unnötig zu verzögern. Eine zusätzliche Belastung erwuchs durch die DIN-seitige Aufkündigung des Vertrags mit der Deutschen Röntgengesellschaft Anfang 2019

und den damit aufkommenden organisatorischen Fragen. Dennoch konnte der nötige Konsens bezüglich der Anpassung einzelner Normen im Rahmen des Vorhabens **„Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie“ (3618S42351)** bis zu Beginn der zweiten Jahreshälfte 2019 erzielt und die jeweiligen Projekte von den Experten verabschiedet werden.

THEMENBEREICH 05 - RADIOÖKOLOGIE

Ziel des Vorhabens **„Experimentelle Bestimmung von Kd-Werten für endlagerrelevante Radionuklide und REFESOL-Böden“ (3616S52530)** war es, mit Hilfe umfangreicher, großvolumiger Säulenversuche und den detailliert beschriebenen Refesol-Böden 02-A und 04-A möglichst realistische Kd-Werte für 9 endlagerrelevante Radionuklide zu ermitteln. Betrachtet wurden die Szenarios „aufsteigendes Grundwasser“ und „Beregnung“. Die gemeinsame Bestimmung der 9 verschiedenen Radionuklide Ni-63, Se-79, I-129, Cs-135, Ra-226, Np-237, U-238, Am-241 und Pu-239 stellte eine große Herausforderung für die Radionuklidanalytik dar. Sie ergab sich aus der Tatsache, dass in den Böden und den wässrigen Lösungen jeweils ein Gemisch von 9 verschiedenen Radionukliden in sehr stark unterschiedlichen Aktivitätskonzentrationen vorlag sowie aus der begrenzten Wassermenge für die Analytik. Aus den Versuchen konnten einige wichtige Erkenntnisse gewonnen werden: Beide Bodenarten adsorbieren die Radionuklide sehr gut (mit Ausnahme des I-129). Im Rahmen der Versuche „Einstau“ und „Berieselung“ werden die Radionuklide in der ersten Bodenschicht (3 - 5 cm mächtig) adsorbiert. In den folgenden Bodenschichten sank die Aktivität rapide ab. In Folge der geringen aquatischen Aktivität in den Folgeschichten ist der Sorptionsprozess gehemmt. Dies führte dazu, dass in den Beregnungsversuchen auch Aktivität im Perkolat der Säulen nachweisbar war. Gleichzeitig war eine bodenspezifische Kd-Wertbestimmung in der Regel nur in der ersten Bodenschicht möglich. Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass die Kinetik und damit auch die zeitlichen Abläufe scheinbar großen Einfluss nehmen. Anhand von Nebenversuchen wurde erkannt, dass die Ausfällung von Radionukliden insbesondere bei längerer Versuchsdauer ein tragendes Thema ist.

THEMENBEREICH 06 - NOTFALLSCHUTZ

Mit dem Forschungsvorhaben **„Ausbau der wissenschaftlichen und der technischen Basis für die Aufgaben des Teams „Strahlenschutz“ im Notfallzentrum der GRS“ (3616S62550)** wurde die Kompetenz des Teams Strahlenschutz im Notfallzentrum der GRS zur Analyse und Bewertung potenzieller Freisetzungen sowie zur Beantwortung von Fragen zum Strahlenschutz von Personal und Einsatzkräften bei radiologischen Notfallsituationen ausgebaut. Zu diesem Zweck wurde eine schnell und effizient nutzbare wissenschaftliche Basis von Informationen und Methoden entwickelt und ausgebaut. Einige Lücken bezüglich bislang nicht durch andere Vorhaben abgedeckter Forschungsaspekte wurden dadurch geschlossen. Die hierfür neu entwickelten Modelle und Methoden sind generell für nukleare und radiologische Notfälle einsetzbar und tragen somit zur Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik auf diesem Gebiet bei.

Das Projekt **„Umsetzung von Informationsstrategien und Konzepten in konkrete Handlungsempfehlungen und Informationsangebote unter Berücksichtigung moderner internetbasierter Kommunikationsformen“ (3617S62555)** hatte das Ziel, die Entwicklung des Kommunikationskonzepts für das Radiologische Lagezentrum des Bundes (RLZ) wissenschaftlich zu unterstützen. Das Projekt war unterteilt in vier Arbeitspakete (AP). AP 1 arbeitete den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens auf. AP 2 und AP 3 wurden gemeinsam bearbeitet und umfassten eine Zielgruppenanalyse und die Erstellung einer Akteurslandschaft. Auf dieser Grundlage sowie der Beschreibung der Ereignisphasen konnten sowohl für Szenariotypen wie auch Zielgruppen konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. AP 4 beurteilte die Potentiale digitaler Informationskanäle für die Risiko- und Krisenkommunikation des BfS. Anhand einer Analyse von Best Practices des In- und Auslandes wurde gezeigt, auf welche Art Online-Kanäle für die Risiko- und Krisenkommunikation bereits eingesetzt werden.

Im Vorhaben **„Abschätzungen möglicher Freisetzungen radioaktiver Stoffe auf dem Wasserpfad bei KKW-Störfällen“ (3617S62564)** wurden mögliche Szenarien des Eintrags ins Grundwasser bzw. einen Fluss bei schweren KKW-Störfällen analysiert und im Hinblick auf eine Generierung von potenziell freisetzbaren Inventaren ausgewertet. Eine Prüfung von Freisetzungsszenarien auf deren Verwendbarkeit für die Notfallpla-

nung des Bundes unter beispielhafter Verwendung des „Fukushima Quellterms“ war ebenfalls Bestandteil dieser Arbeiten.

THEMENBEREICH 07 - VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Das Erfordernis der messtechnischen Überwachung der beruflichen Strahlenexposition von Personen leitet sich aus einem pyramidenförmigen Normen- und Gesetzeswerk ab. Für die Ortsdosimetrie gelten dabei u. a. die operativen Größen H*(10) sowie H'(0,07). Die konkreten Regelungen zu den messtechnischen Anforderungen in Deutschland liefert das Mess- und Eichgesetz. Im Rahmen des Vorhabens **„Entwicklung eines Dosimeters zur Messung der gesetzlichen Messgrößen Umgebungs-Äquivalentdosis H*(10) sowie Richtungs-Äquivalentdosis H'(0,07), insbesondere für eine Photonenenergie unterhalb von 30 keV“ (3617S72384)** wurde der gesetzeskonforme Prototyp eines Messgerätes für niederenergetische Strahlung auf Basis eines BeO-Detektors konzipiert und aufgebaut, dessen Eignung in realen Strahlungsfeldern geprüft wurde, wobei insbesondere die Kriterien der Anforderung PTB-A 23.3 berücksichtigt wurden.

Um die allgemeine gesellschaftliche Bedeutung von Strahlung und Strahlenschutz, die Wahrnehmungen, Kenntnisse und Informationsbedürfnisse der Bevölkerung in Deutschland zu erheben, wurde die **„Durchführung einer repräsentativen Erhebung im Jahr 2019 mit dem Titel „Was denkt Deutschland über Strahlung? Umfrage 2019““ (3619S72204)** als eine telefonische Bevölkerungsbefragung (N = 2 000) gestartet. Strahlung resultiert für die Bürger*innen demnach vor allem aus Radioaktivität und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Von allen abgefragten Strahlungsarten sind letztere den meisten Befragten bekannt. Dabei bestehen jedoch auch Verwechslungen mit niederfrequenten Feldern. Konkretes Wissen zu bestimmten Strahlungsarten und Präventionsmöglichkeiten ist durchschnittlich ausgeprägt. Das Informationsgefühl ist - wie für solche Themen üblich - eher schlecht. Die Befragten nehmen eine zunehmende Strahlenbelastung wahr, momentan ist ca. ein Drittel von Ihnen wegen dieser beunruhigt. Die größte Beunruhigung geht dabei von Radioaktivität aus Kernkraftwerken aus.

Die Studie **„Untersuchung der Möglichkeiten des Einsatzes von Nudging im Strahlenschutz am Beispiel UV-Schutz“ (3619S72403)** zeigt auf, wie Maßnahmen basierend auf dem Nudge-Ansatz gestaltet werden können mit dem Ziel, dass Menschen sich eher vor UV-Strahlung schützen. Hierfür wurde eine systematische Literaturanalyse zu Nudging im UV-Schutz vorgenommen, ein Kreativ-Workshop zur Entwicklung von Lösungsideen durchgeführt und Expertinterviews zur Beurteilung der entwickelten Maßnahmen geführt. Zudem wurden in der Studie gewonnene Erkenntnisse zum Transfer auf den Bereich Radonschutz geprüft. Die Studie zeigt mit den zehn entwickelten Vorschlägen für Nudge-Maßnahmen, wie der UV-Schutz bei Kindern, Erziehern und Eltern sowie Jugendlichen in konkreten Situationen und Umgebungen ermöglicht oder erleichtert werden kann.

THEMENBEREICH 08 - NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

In der Studie **„Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer“ (3616S82430)** wurde untersucht, ob eine GSM900 MHz- und/oder eine TETRA-Exposition einen Einfluss auf die Gehirnaktivität im Schlaf und im Wachzustand von älteren Männern hat. Es wurde speziell für die Studie eine Expositionseinrichtung entwickelt. 30 ältere gesunde Männer im Alter zwischen 60 und 80 Jahren nahmen an der Studie teil und wurden in neun Nacht- und an neun Tagesuntersuchungen getestet. Einem randomisierten, doppelblinden cross-over-Design folgend wurden die Männer jeweils dreimal einer von drei Expositionsbedingungen (GSM900, TETRA und SHAM) ausgesetzt. Es konnten einige wenige physiologische Expositionseffekte auf die Hirnaktivität im Schlaf und im Wachzustand beobachtet werden, wobei bei der Vielzahl durchgeführter Tests Zufallseffekte nicht ausgeschlossen werden können. Es konnten keine nennenswerten Auswirkungen der Exposition auf die Schläfrigkeit und auf kognitive Funktionen festgestellt werden. Insgesamt liefern die leichten physiologischen Veränderungen keine Hinweise dafür, dass eine HF-EMF-Exposition ausgehend von Mobiltelefonen und TETRA-Endgeräten gesundheitsbeeinträchtigende Auswirkungen hat.

Für das BfS wurde ein **„Fachgespräch zur Risikobewertung und Risikowahrnehmung beim Stromnetzausbau“ (3618S82450)** in Oberschleißheim durchgeführt. Die für das Fachgespräch erforderlichen inhaltlichen Grundlagen wurden erarbeitet und die für das Themenfeld und den gesellschaftlichen Diskurs relevan-

ten Expert*innen und Akteure eingeladen. Im Rahmen des als Workshop konzipierten Fachgesprächs wurden mit den Teilnehmenden die zentralen Begrifflichkeiten des Diskurses diskutiert und Wege zur Wissensvermittlung von Inhalten zu elektrischen und magnetischen Feldern in der deutschen Öffentlichkeit skizziert. Die Ergebnisse des Fachgesprächs sind in Form eines Abschlussberichts dem BfS zur Verfügung gestellt worden.

Vor dem Hintergrund inkonsistenter Ergebnisse epidemiologischer Studien zu Amyotropher Lateralsklerose (ALS) und beruflich bedingten niederfrequenten Magnetfeldern (MF) wurde im Rahmen des Vorhabens **„Untersuchung der Machbarkeit und Vorbereitung einer gepoolten Analyse zum Zusammenhang von Amyotropher Lateralsklerose (ALS) und Magnetfeldexposition“ (3618S82451)** die Machbarkeit einer gepoolten Analyse geprüft. Ein Pooling wird für Kohortenstudien empfohlen. Für 6 (von 8) Kohorten und für 2 (von 5) Fall-Kontroll-Studien erklärten die verantwortlichen Studienleiter bereits ihre Bereitschaft, Daten für eine gepoolte Analyse zur Verfügung zu stellen. Die Zusammenführung von Primärstudien, die damit verbundene Möglichkeit zur Homogenisierung von Expositionskategorien sowie die verbesserte statistische Power ermöglichen einen über Einzelstudien hinausgehenden zusätzlichen Erkenntnisgewinn. Da Informationen zu Stromschlägen in lediglich zwei der Kohorten, für die bereits Bereitschaft zum Pooling erklärt wurde, erhoben wurden (in nur einer davon als quantifizierbare Variable), könnte die Bedeutung dieses Confounders in einer Pooling-Studie, die diese 6 Kohorten umfasst, nicht untersucht werden.

Auf Grund der mangelnden Sichtbarkeit niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder sind Laien auf die Aussagen und Berechnungen von Experten oder aber auf Messungen angewiesen, um die Höhe der Exposition in verschiedenen Alltagsszenarien einschätzen zu können. Das Forschungsvorhaben **„Überprüfung von Darstellungsformaten für Messergebnisse niederfrequenter Felder und deren Bedeutung für die Risikokommunikation“ (3618S82452)** untersuchte empirisch, welche Effekte verschiedene kommunikative Darstellungsformen von Feldstärken, die in der Nähe von Hochspannungsleitungen auftreten, auf Rezipienten haben. Es ging bei diesem Projekt nicht direkt um die Kommunikation von möglicherweise vorhandenen Gesundheitsrisiken selbst, sondern um die Kommunikation der Messwerte als Indikatoren der Exposition. Entscheidend war der Bezug der Messwerte zu Vergleichsgrößen wie etwa zu gesetzlich festgelegten Grenzwerten (26. BImSchV), zu den berechneten Werten unter maximaler Anlagenauslastung oder zur Exposition durch andere Quellen niederfrequenter Felder (z. B. Haushaltsgeräte).

Im Rahmen der Studie **„Evaluierung der Botschaften und Texte des BfS aus dem Bereich des Stromnetzausbaus (3618S82454)“** wurde die subjektive Verständlichkeit der Texte bzw. Materialien des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) aus Sicht der Adressaten des BfS und am Beispiel unterschiedlicher Materialien zum Strahlenschutz beim Stromnetzausbau untersucht. Dazu zählen Texte im Internet, Broschüren sowie ein Video und Auftritte von Referent*innen bei öffentlichen Veranstaltungen. Die Materialien richteten sich sowohl an interessierte Bürger*innen als auch an professionelle Nutzerinnen und Nutzer beispielsweise in mit dem Thema „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ befassten Verwaltungen. Sie sollten wissenschaftlich fundiertes und sachgerechtes Grundlagenwissen und Orientierung bieten. Ausgehend von einer Einführung in das Thema fokussierten die methodischen Herangehensweisen vor allem auf Befragungen von Experten im Themenfeld, von Bürgerinnen und Bürgern sowie von professionellen Akteuren in Gesundheitswirtschaft und Verwaltungen. Im Ergebnis werden Empfehlungen für Verbesserungen des untersuchten Informationsangebotes zum Strahlenschutz beim Stromnetzausbau auch an konkreten Beispielen gegeben.

Um die Stimmungs- und Kenntnislage der Bevölkerung zum Thema gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Magnetfelder bei Hochspannungsleitungen zu erheben, wurde 2019 im Rahmen des Forschungsvorhabens „**Umfragen zur Ermittlung der Besorgnis in der Bevölkerung 1. Welchen Stellenwert haben Magnetfelder in der öffentlichen Wahrnehmung des Stromnetzausbaus? Eine deutschlandweite Befragung“ (3618S82460)** eine telefonische Bevölkerungsbefragung (N = 2 500) durchgeführt. An diese anschließend folgte eine telefonische Vertiefungsbefragung mit N = 200 Personen, die im Umkreis einer vorhandenen oder geplanten Hochspannungsleitung leben. Die Ergebnisse der Bevölkerungsbefragung zeigen eine eher neutrale Stimmungslage der Bevölkerung. Die Vertiefungsbefragung zeigt jedoch, dass mit zunehmender Nähe zu einer bestehenden oder geplanten Hochspannungsleitung die Haltung teilweise kritischer ist. Generell werden wahrgenommene Gesundheitsrisiken und gesundheitliche Beeinträchtigungen allerdings vor allem durch hochfrequente Felder ausgemacht, weniger durch Hochspannungsleitungen. Die Kenntnislage in der Bevölkerung ist eher schwach, nur ein Viertel hat schon einmal etwas von niederfrequenten Feldern gehört oder gelesen. In der Nähe einer vorhandenen oder geplanten Hochspannungsleitung Wohnende informieren sich mehr.

Von 5. bis 7. November 2019 fand ein **„Internationaler Workshop zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf die belebte Umwelt“ (3619I02420)**, veranstaltet vom Bundesamt für Strahlenschutz, statt. Expertinnen und Experten aus der ganzen Welt waren geladen, um in München drei Tage lang zu unterschiedlichen Aspekten und Problemstellungen zu diskutieren und gemeinsam einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand zu geben. Zur Gestaltung der Programmpunkte waren 20 internationale Rednerinnen und Redner geladen, um verschiedene Fachrichtungen und Forschungsbereiche darzustellen. Insgesamt 64 Personen aus 15 Ländern kamen für den Workshop nach München.

1. Summary

On behalf of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) the Federal Office for Radiation Protection (BfS) awards research grants for projects in the field of radiation protection. The findings of these projects serve as decision aiding information in the development of radiation protection regulations as well as in the fulfilment of specific tasks in the field of radiation protection. The tasks of the Federal Office for Radiation Protection involve planning, technical and administrative preparation, awarding of contracts, general support as well as the technical evaluation of research and study projects. This report provides information on results, i. e. preliminary (in the form of status reports) and, where applicable, final results of radiation protection projects within the BMU's Environmental Research Plan for the year 2019.

1.1 Preface

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

1.2 Introduction

The **subject areas** (TB) of the radiation protection research will be explained in detail in the following, although there are no projects in this area in 2019.

One of the primary tasks consists in the assessment and evaluation of **natural and artificial radiation exposures** (TB 01) of man and the environment. For example, enrichment processes of natural radioactive substances (e. g. radon) or emerging trends in the artificial use of radioactive substances and ionising radiation must be identified and evaluated in a timely fashion so that appropriate measures can be taken to counteract any danger to man and the environment.

A prerequisite not only for many of the studies but also for proving that dose level values have been kept is the availability of adequate measurement techniques and dose assessment procedures. The multifaceted and complicated measurements of **radiation protection technology** (TB 02) require that existing measurement techniques are improved, new systems are developed and dosimetric models and data are continually checked and adjusted.

The Radiation Protection Ordinance sets forth dose limits to protect members of the public and persons occupationally exposed to radiation at work. These limits are based upon scientific knowledge. They have to be updated continually and adapted to the state of the art of scientific and medical research in order to ensure radiation protection to the fullest possible extent. Since **biological reactions to ionising and non-ionising radiation** (TB 03) can vary considerably depending on the individual, further research and evaluation is required. Therefore, procedures to identify individual **radio-sensitivity** must be further developed.

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

Since man-made radiation exposure of the public is mainly made up of **medical radiation exposure** (TB 04) from diagnostic procedures, this latter is another focal point of the BMU Environmental Research Plan (Umweltforschungsplan) 2019. In this context, it is particularly important that the health benefit associated with the use of radiation in man outweighs the radiation risk. It is crucial to balance the benefits and risks of diagnostic procedures, to search for alternative procedures involving lower risks, and to reduce radiation exposure by appropriate procedures.

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

ecosystems and their subsequent effect on man via the food chain. Thus, detailed information on **radioecology** (TB 05) is needed.

Incidents can happen, due to human or technical error, at any place where people work with radioactive substances or ionising radiation. This may cause radioactive substances to be released or people to be exposed to radiation. Determination and optimisation of precautionary measures against accidents and incidents is therefore one of the BfS' permanent tasks. **Emergency management** (TB 06) is an area requiring continual improvement and the effectiveness of safety measures culminating in medical protective measures in the case of an overexposure needs to be optimised on an on-going basis.

Apart from that, a number of projects deals with issues of **general importance for radiation protection** (TB 07).

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

On top of this, man's environment is increasingly influenced by the presence and the use of electrical devices as well as by the acceleration in the development of electronic media and wireless communication. This ever expanding trend has given rise to new tasks in the field of protection from the effects of **non-ionising radiation** (TB 08).

In the **German Mobile Telecommunication Research Programme (DMF)** (TB 09) effects of different uses of non-ionising radiation on man were studied systematically. The main emphasis of these research projects was in the fields of biology, epidemiology, dosimetry and risk communication. A similar programme was initiated for the **national grid expansion**. The projects were funded by BMU as well as by the operators of the German mobile phone network respectively the grids. In order to exclude possible conflicts of interest, the projects were assigned and scientifically overseen solely by the BfS.

1.3 Summary of results from recent research projects

In the following results of research projects concluded in 2019 will be reported:

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

In the second funding cycle of the Global Acute Leukaemia network (GALnet) two projects were initiated or conducted in the research project **"Childhood leukaemia - establishment, consolidation and possible extension of an international network for the study of causes of childhood leukaemia; Comparisons of international studies" (3614S30041)**, in addition to maintaining the network's website. The first project is a special issue on describing the situation for the whole journey of disease of childhood cancer in different parts of the world, with review articles on the diagnostic process as well as treatment options including barriers and challenges. One article is using an alternative method to estimate the global burden of childhood cancer, resulting in an estimate of 360 000 incident cases for 2015, which is substantially higher than the incidence observed in cancer registries. Hence caution is warranted when interpreting geographical differences with only an aetiological perspective, as the health care system is an important factor of how many diseased children receive diagnosis and treatment. Second project is a literature review of exposure surveys in children on exposure to extremely low-frequency magnetic fields in low-middle-income countries. Only few relevant studies were identified. In conclusion, there is a need of systematic measurement surveys and there is virtually no reliable data.

Exosomes are a class of extracellular vesicles which are released from almost all cell types. They contain proteins, lipids, and nucleic acids. At first exosomes were considered as tools to get rid of cellular waste components. In the meantime it is recognised that exosomes can be incorporated into recipient cells to influence their phenotype. Investigations about the influence of ionising radiation on exosome-mediated cell-cell communication in non-malignant systems are missing widely. In the project **"Characterisation of exosomes after in vitro and in vivo irradiation as biomarker for radiation exposure" (3616S32260)** radiation-induced protein and microRNA changes in exosomes from lymphocytes, fibroblasts, epithelial and endothelial cells were analysed by total proteome analysis and by next generation sequencing. Beside total protein changes, also protein alterations at the exosome surface were investigated. To compare these in vitro data with in vivo findings, selected proteins and microRNA were measured in exosomes isolated from the plasma of radiation

therpy patients. In all cell systems radiation-induced changes were found, however, candidates must be validated in further experimental settings. Most interestingly, the identified changes were qualitatively different for the high dose range compared to low dose irradiation, which points to different signaling processes. To investigate this in more detail, potential functional differences should be evaluated in a follow-up project.

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

In the frame of the research projekt **"Survey of medical radiation exposure in the German National Cohor" (3616S42233)** the medical radiation exposure of 3923 participants in the German National Cohort Study (GNC) was assessed in four NAKO study centers. The study included self-reports of retrospectively and prospectively assessed examinations and their indications. Participation rate at baseline was 79.4 % of all GNC participants in the four centers. Two thirds reported having had at least one radiological examination in the past, mainly CT and general X-ray examinations. After follow-up, about one third reported additional examinations. Indications differed across age group, falls and injuries as well as pain, e. g. spine-related, were reported frequently. Overall, assessment of medical radiation exposure in the four GNC study centers was successfully implemented.

The goal of the project **"Evaluation of the implementation of dose-management-systems used for optimising diagnostic X-ray applications in different facilities" (3616S42432)** was the assessment of radiation dose management systems (DMS) with respect to dose optimisations and compliance with dose reference values or self-defined thresholds in x-ray diagnostics and interventional radiology. In addition, facility-specific processes used in hospitals and private practices were documented and assessed. The results are summarised in a guideline for users.

The Council directive 2013/59/EURATOM asks EURATOM Member States to set up systems for prevention of incidents, for their investigation and analysis. In the frame of the project **"Operational handling of (significant) incidents in medical applications of radioactive material in nuclear medicine and practical testing of reporting criteria" (3617S42332)** criteria for incidents have been defined for the field of nuclear medicine. Their usefulness has been tested in the frame of an application study over a period of twelve months within a group of 13 nuclear medicine institutions. Documentation and follow up of incidents have been supported by a software, which was developed in the frame of the project. In total, 66 incidents were observed. Data were analysed and main causes identified. In addition, general usability issues were assessed.
In addition, criteria for incidents that are currently specified in German radiation protection directive were critically reflected. Finally, the extent, to which an independent supervision of legally complaint treatment of incidents might be possible, was assessed.

The article 63 of the Council Directive 2013/59/EURATOM states that "the undertaking declares as soon as possible to the competent authority the occurrence of significant events." This requirement was included in § 90 of the German Radiation Protection Act (StrlSchG) which was published on June 27, 2017. Criteria for the significance of an incident are specified in the appendices 14 and 15 of the Radiation Protection Ordinance. The aim of the project **"Operational handling of (significant) incidents in medical applications of ionizing radiation in diagnostic radiology and interventional radiology as well as practical experience of the reporting criteria" (3617S42333)** was the systematic detection and evaluation of (significant) incidents and near misses in medical use of ionising radiation in diagnostic radiology (including dentistry) and interventional radiology. This took into account the agreed reporting criteria. It was hereby intended to examine the applicability of the reporting criteria in clinical operation as well as the introduction of an incidents and near incidents reporting system into daily clinical practice.

The first aim of the study **"Collecting relative frequencies and assessing radiation doses of pediatric radiology procedures involving ionising radiation" (3617S42441)** was to identify frequent procedures in pediatric radiology in Germany involving ionising radiation. The second aim was to collect values for technical parameters affecting radiation dose. Results can be used to update current Diagnostic Reference Levels (DRL) in pediatric radiology or to establish new DRL. First hospitals and private practices frequently carrying out radiological examinations were identified. The goal was to proceed with data collection in 50 institutions covering the period 2016-07-01 to 2018-06-30. For data collection, participants could use custom software to automatically create exports from a Picture Archiving and Communication System (PACS). Alternatively, participants provided exports from Dose Management System (DMS), from a Radiological Information System (RIS), or manually completed an Excel template. Study and series descriptions were mapped to standard ex-

aminations. For each such examination, the distribution of technical parameters and dose values was characterised stratified by age group and gender. So far, data from 8,539 CT series, 98,540 conventional radiology examinations, and 3,810 fluoroscopy examinations were collected. As a sample result, among 3,128 chest CT, 584 were for 10-14-year-old patients. Among these, the distribution's third quartile was 2.6 mGy for CTDIvol and 81 mGy*cm for DLP - considerably lower than current DRL that specify 6.5 mGy CTDIvol and 200 mGy*cm DLP. Results indicate that in participating institutions, technical parameters for pediatric radiology examinations in general comply with existing DRL, and are often lower.

The aim in the project **“Instruction and training of medical staff for the proper handling of diagnostic imaging modalities in radiology and nuclear medicine (Evaluation of the quality of education in radiation protection (EDAQS))” (3617S42444)** was to achieve a more appropriate learning situation in the initial trainings and in the courses on radiation protection by making viable recommendations. For this reason courses (basic, advanced and up-to-date refresher courses) and initial trainings were evaluated in person, manufacturers and professional societies were interviewed. Experts with different specialisations were invited to several workshops for further procedural steps and analysis. Regarding the reorganisation of courses on radiation protection different proposals were made, including a new target group-specific-course configuration with reduced attendance times. Subject catalogs for the redesigned courses were created. Solutions for the observed problems in initial trainings were proposed and summarised in a guideline including a subject catalog also qualifying as a reputable checklist for operators and teachers.

The X-ray Ordinance (RöV) valid until the end of 2018 has been replaced by the new Radiation Protection Ordinance (StrlSchV) and the new Radiation Protection Act (StrlSchG) in the course of the modernisation of the German radiation protection law in accordance with Directive 2013/59/EURATOM. The adaptation of the body of standards to the new circumstances primarily required the replacement of the RöV as the reference source. In this context, the up-to-dateness of the individual standards i. e. their correspondence to the state of the art was also reviewed. Already ongoing standards projects - the review of the body of standards is a regular process - were prioritised in order to avoid unnecessary delays in publication. An additional burden was created by the DIN-sided termination of the contract with the Deutsche Röntgengesellschaft at the beginning of 2019 and the organisational issues that arose as a result. Nevertheless, in the frame of the project **“Preparation and revision of technical standards for radiation protection and quality assurance in medical radiology” (3618S42351)** the necessary consensus on the adaptation of individual standards was reached by the beginning of the second half of 2019 and the respective projects were approved by the experts.

SUBJECT AREA 05 - RADIOECOLOGY

The aim of the project **“Experimental determination of Kd-values for final repository relevant radionuclides and REFESOL-soils” (3616S52530)** was the determination of most realistic Kd values for 9 relevant radionuclides with the help of large-volume column tests with the REFESOL soils 02-A and 04-A. The scenarios "rising groundwater" and "irrigation" were considered. The joint determination of the 9 different radionuclides Ni-63, Se-79, I-129, Cs-135, Ra-226, Np-237, U-238, Am-241 and Pu-239 posed a major challenge for radionuclide analysis. It resulted from the fact that a mixture of 9 different radionuclides with very different activity concentrations in the soils and the aqueous solutions has to be analysed and from the limited amount of water for analysis. The mayor insights gained from the tests are: Both soil types adsorb the radionuclides very well (with the exception of the I-129). The radionuclides are adsorbed in the first soil layer (3 - 5 cm) for the test irrigation and capillary rise. The activity dropped rapidly in the following soil layers. Due to the low aquatic activity in the subsequent layers, the sorption process is inhibited. As a result, activity in the percolate of the columns was also detectable in the irrigation tests. Thus, a soil-specific Kd value determination was usually only possible in the 1st layer. In addition, it was found that the kinetics and thus the temporal processes seem to have a major impact. On the basis of side experiments, it was recognised that the precipitation of radionuclides is a key issue, particularly over a longer period of time.

SUBJECT AREA 06 - EMERGENCY MANAGEMENT

By the project **“Enhancement of the Scientific and Technical Basis for the Tasks of the Team "Radiation Protection" within GRS' Emergency Center” (3616S62550)**, the competence of the team "Radiation Protection" as part of the GRS emergency response center has been enhanced. In particular, the capabilities to analyse and evaluate releases of radioactive material and to answer questions concerning radiation protection of emergency workers have been strengthened. For this purpose, a scientific base comprising relevant infor-

mation and methods has been established which can be used efficiently in case of an emergency. Some knowledge gaps could be filled by addressing subjects which had not been treated in previous projects. The corresponding methods and models are generally applicable to nuclear and radiological emergency situations and by this contribute to the further development of the state of the art within this area.

The project **“Conversion of information strategies and concepts into concrete recommendations for action and information offerings, taking into account modern internet-based forms of communication” (3617S62555)** aims at scientifically supporting the development of the communication concept for the Radiological Situation Centre of the Federation (RLZ). The project was divided into four phases. Phase 1 worked up the current state of science and technology for the purposes of the project. Phase 2 and phase 3 were worked on together. Based on a target group analysis, the creation of an actor landscape and the description of the event phases, concrete recommendations for action could be derived for both scenario types and target groups. Phase 4 assesses the potential of digital information channels for the risk and crisis communication of the BfS. On the basis of an analysis of best practices at home and abroad, it was shown how online channels are already used for risk and crisis communication.

In the project **“Estimation of possible releases of radioactive material on water paths during NPP-accidents” (3617S62564)** potential release scenarios with injection into groundwater or river during severe accidents of NPPs were analysed. It includes as well the assessment of these potential release scenarios with respect to the applicability for the emergency planning by an exemplary use of the Fukushima source term.

SUBJECT AREA 07 - PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

The requirement of measuring the occupational exposure of radiation exposed persons based on pyramidal acts and ordinances. For the dosimetry the ambient dose equivalent H*(10) and directional dose equivalent H'(0.07) are appropriate. Precise regulations are given in the German Measurement and Verification Act. Within the project **“Development and design of a dose meter resp. dose rate meter for dose-equivalent H*(10) and H'(0.07), in particular for photon energies less than 30 keV” (3617S72384)** a prototype of a measurement device conforming to the law for low-energy radiation on basis of BeO-detectors is developed and constructed. The practicability of this device is tested in real radiation fields, regarding for example the requirement PTB-A 23.3.

In order to evaluate the general importance of radiation and radiation protection, the perceptions, knowledge and information needs of the population in Germany, a telephone population survey (N = 2 000) was carried out in the project **“Realisation of a representative survey in 2019 entitled "What does Germany think about radiation? Survey 2019"” (3619S72204)**. According to the participants, the main sources of radiation are radioactivity and high-frequency electromagnetic fields. Of all sources given, the latter are the best known. Nevertheless, respondents were not always able to distinguish them from low-frequency fields. There is medium concrete knowledge about the radiation sources given and prevention. People feel rather inappropriately informed, which is typical for topics like these. Participants feel a rising radiation load in general. At the moment about one third of them is worried about the radiation they are surrounded by. The biggest thread is seen in radioactivity from nuclear power plants.

The study **“Investigation of the possibilities of using nudging in radiation protection by way of example of UV protection (3619S72403)“** shows how interventions based on the nudge approach can be designed with the aim that people are more likely to protect themselves from UV radiation. To this end, a systematic literature analysis on nudging in UV protection was carried out, a creative workshop was held to develop solution ideas and expert interviews were conducted to evaluate the interventions. In addition, the knowledge gained in this study was tested for transfer to the field of radon protection. With the ten proposals for interventions developed, the study shows how UV protection can be enabled or facilitated for children, educators and parents as well as adolescents in concrete situations and environments.

SUBJECT AREA 08 - NON-IONISING RADIATION

In the study **“Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly men” (3616S82430)** possible effects of GSM900 MHz and/or TETRA exposure on brain activity during sleep and waking in elderly men were investigated. A special exposure set-up was developed. Thirty elderly healthy male volunteers aged between 60 and 80 years participated in the present study and

were tested on nine days and nine nights. Male volunteers were exposed three times to three exposure conditions (GSM900, TETRA and SHAM) following a double blind randomised cross-over study design. Some physiological exposure effects on brain activity during sleep and waking in different directions were observed. Given the high number of tests, random effects cannot be precluded. No important exposure effects on sleepiness and cognitive functioning could be observed. Overall the slight physiological changes are not indicative of any health effects related to RF EMF exposure from mobile phones and TETRA handsets.

An **"Expert talk on risk evaluation and risk perception regarding the extension of the electricity grid" (3618S82450)** was organised for the BfS in Oberschleißheim. The required subject-specific contents were elaborated and experts and stakeholders relevant for the public discourse were invited. The expert discussion was designed as a workshop format. The participants discussed the key terms of the discourse on electric and magnetic fields and outlined ways of knowledge distribution about electric and magnetic fields in the German public sphere. The results of the expert discussion have been made available to the BfS in the final project report.

Results of previous epidemiological studies on occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and the risk of amyotrophic lateral sclerosis are inconsistent. In the project **"Assessment of feasibility and preparation of a pooling study on the relationship between amyotrophic lateral sclerosis (ALS) and exposure to magnetic fields" (3618S82451)** the feasibility of conducting a pooled analysis was investigated . A pooling study is recommended for cohort studies. The principal investigators of 6 (out of 8) cohorts and 2 (out of 5) case-control-studies have already agreed to collaborate and to contribute their data to a pooled analysis. The joined analysis of data allows to harmonise exposure categories and to improve the statistical power, providing for an additional knowledge gain, compared to the primary studies. As only 2 cohorts out of 6, which have already agreed to participate in the pooled analysis, assessed the exposure to electric shocks, and only one of them in a quantifiable form, the role of electric shocks as a potential confounder is not feasible within a pooling of these 6 cohort studies.

Due to the lack of visibility of low-frequency electric and magnetic fields, laypersons are dependent on expert statements and calculations or measurements in order to assess the level of exposure in various everyday scenarios. In order to be able to assess the strength of this fields and thus the level of exposure, citizens as laypersons are dependent on experts' display of measurement results. The research project **"Investigation different display formats for the results of low-frequency field measurements and their utility in risk communication" (3618S82452)** empirically investigated the effects of different communicative forms of representation of field strengths that occur in the vicinity of high-voltage power lines on recipients. This project was not directly concerned with the communication of possibly existing health risks themselves, but with the communication of measured values as indicators of exposure. The decisive factor was the relation of the measured values to comparative values such as legally defined limit values (26. BImSchV), to calculated values under maximum plant load or to exposure from other sources of low-frequency fields (e. g. household appliances).

In the context of the study **"Evaluation of messages and texts published by the BfS with regards to energy grid expansion" (3618S82454)**, the comprehensibility of the texts and materials of the German Federal Office for Radiation Protection (BfS) from the point of view of the addresses of the government agency was examined. Different materials for radiation protection in the expansion of the electricity grid were used. These included texts on the Internet, brochures, a video, and appearances of speakers at public events. The texts and materials studied were aimed both at interested citizens and at professional users, for example in administrations concerned with the subject of radiation protection during the expansion of the electricity grid. They were intended to provide scientifically sound and relevant basic knowledge and orientation. Based on an introduction to the topic, the methodological approach focused primarily on interviews with experts in the field, citizens and professional actors in the health care industry and administrations. As a result, recommendations for improvements in the information offered on radiation protection during the expansion of the electricity grid are also given on the basis of concrete examples.

To evaluate the knowledge and feelings of the population on the topic of health impairments caused by magnetic fields in overhead power lines, a telephone population survey (N = 2 500) was carried out in 2019 in the frame of the project **"Surveys of concerns in the public. What significance do magnetic fields have in the public perception of the extension of the high-voltage power grid?" (3618S82460)**. It was followed by a telephone survey with N = 200 persons living in the vicinity of existing or planned overhead power lines.

The results show a rather neutral mood of the population. However, the second survey shows that with increasing proximity to an existing or planned overhead power line, the attitude is sometimes more critical. All in all, perceived health risks and health impairments are mainly identified by high frequency fields, not by overhead power lines, though. The knowledge in the population is rather weak, only a quarter has ever heard or read something about low-frequency fields. Residents near an existing or planned overhead power line are looking for information more actively than others.

The Federal Office for Radiation Protection hosted the **"International Workshop: Environmental effects of electric, magnetic, and electromagnetic fields: Flora and fauna " (3619I02420)** from 5th to 7th November 2019. Experts from all over the world were invited to Munich, to discuss recent developments and current problems related to the topic. Together they created an overview over the different issues concerning EMF and the possible effects on flora and fauna. The programme was formed by 20 international speakers who presented their point of view and current research status. In total, 64 guests from 15 different countries came to Munich to participate at the workshop.

2. ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)

der vom BfS begleiteten Strahlenschutz-Forschungsvorhaben des BMU 2019

2. RESULTS (FINAL REPORTS)

of BfS supported BMU radiation protection research projects in 2019

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

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

Thema			
Leukämie im Kindesalter - Aufbau, Stabilisierung und ggf. Erweiterung eines internationalen Netzwerkes zur Ursachenforschung von Leukämien im Kindesalter; Erkenntnisgewinn durch internationale Vergleichsstudien			
Subject			
Childhood leukaemia - establishment, consolidation and possible extension of an international network for the study of causes of childhood leukaemia; Comparisons of international studies			
Kennzeichen 3614S30041	**Beginn** 01.09.2018	**Ende** 31.08.2019	**Fördermittel** EUR 51.980,-
Forschungs- / Auftragnehmer International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, France			
Projektleitung Dr. J. Schüz	**Fachbetreuung BfS** Dr. G. Ziegelberger / WR 5	**verantwortlich für den Text** Dr. J. Schüz	

1. ZIELSETZUNG

Im Juli 2010 entwickelte eine Expertengruppe aus Epidemiologen und Klinikern einen Forschungsplan zur Verbesserung der internationalen Zusammenarbeit zur Häufigkeit, Ätiologie, Diagnostik und Therapie von akuten lymphoblastischen Leukämien (ALL) im Kindesalter. Ins Leben gerufen wurde dieser auf einem wissenschaftlichen Symposium des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS). Mit dem Ziel einer globalen Einbeziehung von Experten bei gleichzeitig überschaubarer Gruppengröße wurde das Netzwerk GALnet („Global Acute Leukaemia network“) gegründet, koordiniert von der International Agency for Research on Cancer (IARC) in Lyon, der Krebsforschungseinrichtung der Weltgesundheitsorganisation (WHO). In GALnet sind etwa 20 Länder vertreten, in der Regel durch entweder die größte pädiatrische Onkologie ihres Landes oder durch ein länderspezifisches Netzwerk pädiatrischer Onkologien. Die Förderung von GALnet erfolgte initial durch das BfS (Projekt “*Pilot to develop a main study protocol for a multinational study of childhood leukaemia investigating the potential aetiological roles of genetic pre-disposition, biomarkers of infectious exposure, and selected environmental factors*” (3611S70028)) sowie das Ministerium für Gesundheit der Türkei, mit der Etablierung des Netzwerks zwischen 2012 und 2013. Das hier näher ausgeführte Projekt ist eine Fortführung von GALnet.

Die in GALnet vertretenen Länder sind:

- Europa: Dänemark, Deutschland, Großbritannien, Russische Föderation
- Asien / Mittlerer Osten: China, Indien (2 Zentren, Nord und Süd), Japan, Jordanien, Südkorea, Türkei
- Amerika: Argentinien, Brasilien, USA
- Afrika: Ägypten, Ghana, Kenia, Nigeria, Uganda, Südafrika.

2. EINZELZIELSETZUNG

Für die Fortführung unter dem Titel „Leukämie im Kindesalter - Aufbau, Stabilisierung und ggf. Erweiterung eines internationalen Netzwerkes zur Ursachenforschung von Leukämien im Kindesalter; Erkenntnisgewinn durch internationale Vergleichsstudien“ sind die folgenden Einzelzielsetzungen definiert.

2.1 GLOBALES VORKOMMEN VON ALL

Es ist nicht klar, inwieweit die in den Krebsregistern beobachtete Inzidenz von ALL die tatsächliche globale Inzidenz widerspiegelt. Die von der IARC publizierten Daten zur Kinderkrebs-Inzidenz aus bestehenden Krebsregistern zeigen große geographische Unterschiede bezüglich des Auftretens von ALL, welche in Industrieländern häufiger vorkommt als in weniger entwickelten Ländern. Gründe hierfür sind aber möglicherweise nicht ausschließlich Unterschiede in der Inzidenz oder Untererfassung der Register, sondern vor allem, dass nicht alle ALL-Fälle diagnostiziert und in Behandlungszentren vorstellig werden. Diese Beobachtung wurde vor allem in Afrika und Asien gemacht. Dies hätte Auswirkungen auf Hypothesen zur Ätiologie, von denen viele auf der Annahme beruhen, dass es gravierende geographische Unterschiede in der Inzidenz gibt, welche allein den bekannten Risikofaktoren geschuldet sind.

GALnet hat in diesem Projekt ein *Special Issue* in der Zeitschrift „Cancer Epidemiology“ initiiert. Einer der Review-Artikel nutzt einen alternativen statistischen Ansatz zur Berechnung von Inzidenzraten von Kinderkrebs insgesamt und diagnose-spezifisch, der das Potenzial der Unter-Diagnostik, aber auch bekannte Risikofaktoren (z. B. EBV[1)] beim Burkitt-Lymphom) berücksichtigt. Dieses Verfahren wurde global angewendet.

Für die weiteren Review-Artikel wurden aus dem GALnet-Konsortium Experten ausgewählt, um die Situation für Kinderkrebs vom ersten Verdacht bis zur Behandlung zu beschreiben, inklusive möglicher Barrieren bezüglich Diagnose und Behandlung. Ein weiterer Review-Artikel zielt auf *Childhood Cancer Survivorship* ab.

2.2 ÜBERSICHT ZU STRAHLENEXPOSITIONEN VON KINDERN

Bei dieser Einzelzielsetzung sollte eine Übersicht erstellt werden, in welcher Informationen zu typischen Strahlenexpositionen von Kindern gesammelt und geographisch aufbereitet werden. Hierbei wurde auf mögliche Messreihen zu niederfrequenten Magnetfeldern Wert gelegt, da diese als Risikofaktor für ALL diskutiert werden. Informationen zur globalen Exposition ionisierender Strahlung werden regelmäßig von UNSCEAR[2)] publiziert.

2.3 SCHAFFUNG EINER GALNET-KOMMUNIKATIONSPLATTFORM

Die GALnet-Website http://galnet.iarc.fr wurde im Rahmen dieses Projektes fortgeführt. Für diese technische Zielsetzung erfolgt keine weitere Beschreibung in den Kapiteln 3-5.

3. METHODIK

Für Einzelzielsetzung 2.1 wurden Experten aus dem GALnet-Netzwerk ausgewählt, die die Situation der verschiedenen geographischen Regionen im Detail kennen. Für die Autoren wurden zu verschiedenen Krebserkrankungen Ablaufdiagramme erstellt, anhand derer sie sich bei der Beschreibung orientieren sollen. Abb. 1 zeigt exemplarisch ein solches Ablaufdiagramm für Burkitt Lymphome in Uganda. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Review-Artikel. Alle Artikel sind für Januar 2020 anvisiert, wobei die ersten beiden bereits unter Review für die „Cancer Epidemiology“-Sonderausgabe sind.

Tabelle 1: Special Issue in „Cancer Epidemiology“ zu Kinderkrebs

Titel (tentativ)	verantwortlicher Autor	Land
Editorial Special Issue	J. Schüz	IARC
Childhood cancer incidence – a modeling approach	T. Johnston	UK
Childhood Cancer in Sub-Saharan Africa	C. Segbefia	Ghana
Childhood Cancer in the EMRO region	Saab	Lebanon
Childhood Cancer in India	Kumar	India
Childhood Cancer in Latin America	K. Ribeiro	Brazil
Childhood Cancer in HIC	S. Kinsey	UK
Case Study: Retinoblastoma diagnosis and treatment in Africa	K. Waddell	Uganda
Survival from childhood cancer and late effects in childhood cancer survivors	F. Erdmann	Denmark

Für Einzelzielsetzung 2.2 wurde eine Literaturrecherche mit Pubmed und Web of Science durchgeführt (Abb. 2). Hierbei wurden 26 relevante Artikel identifiziert. Zudem wurde ein Aufruf für nicht publizierte Daten mit Hilfe des WHO EMF Listservers gestartet, über den jedoch keine zusätzlichen Berichte identifiziert werden konnten.

[1)] Epstein-Barr-Virus
[2)] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

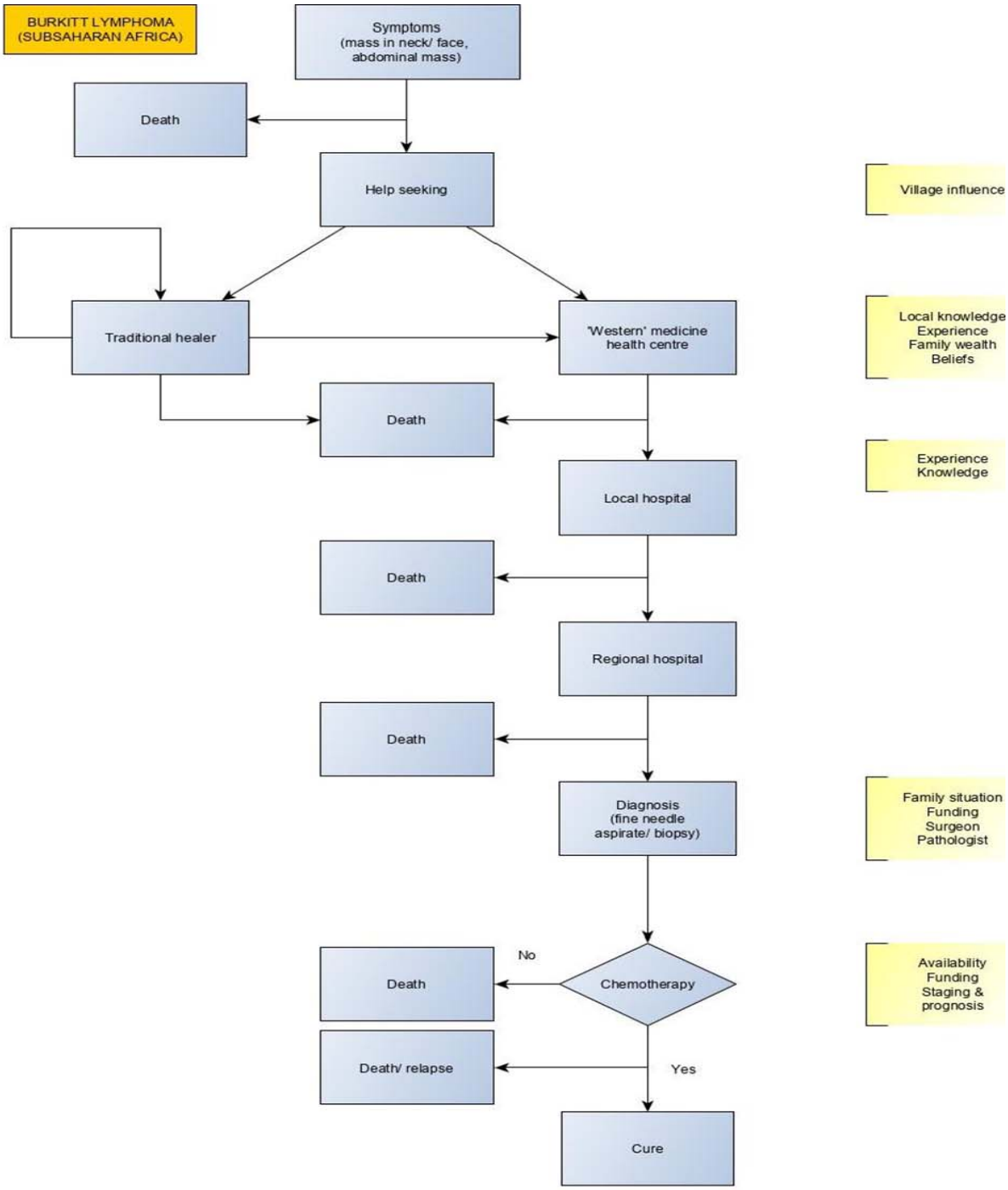


Abbildung 1: Ablaufdiagramm zu Burkitt Lymphom in Uganda

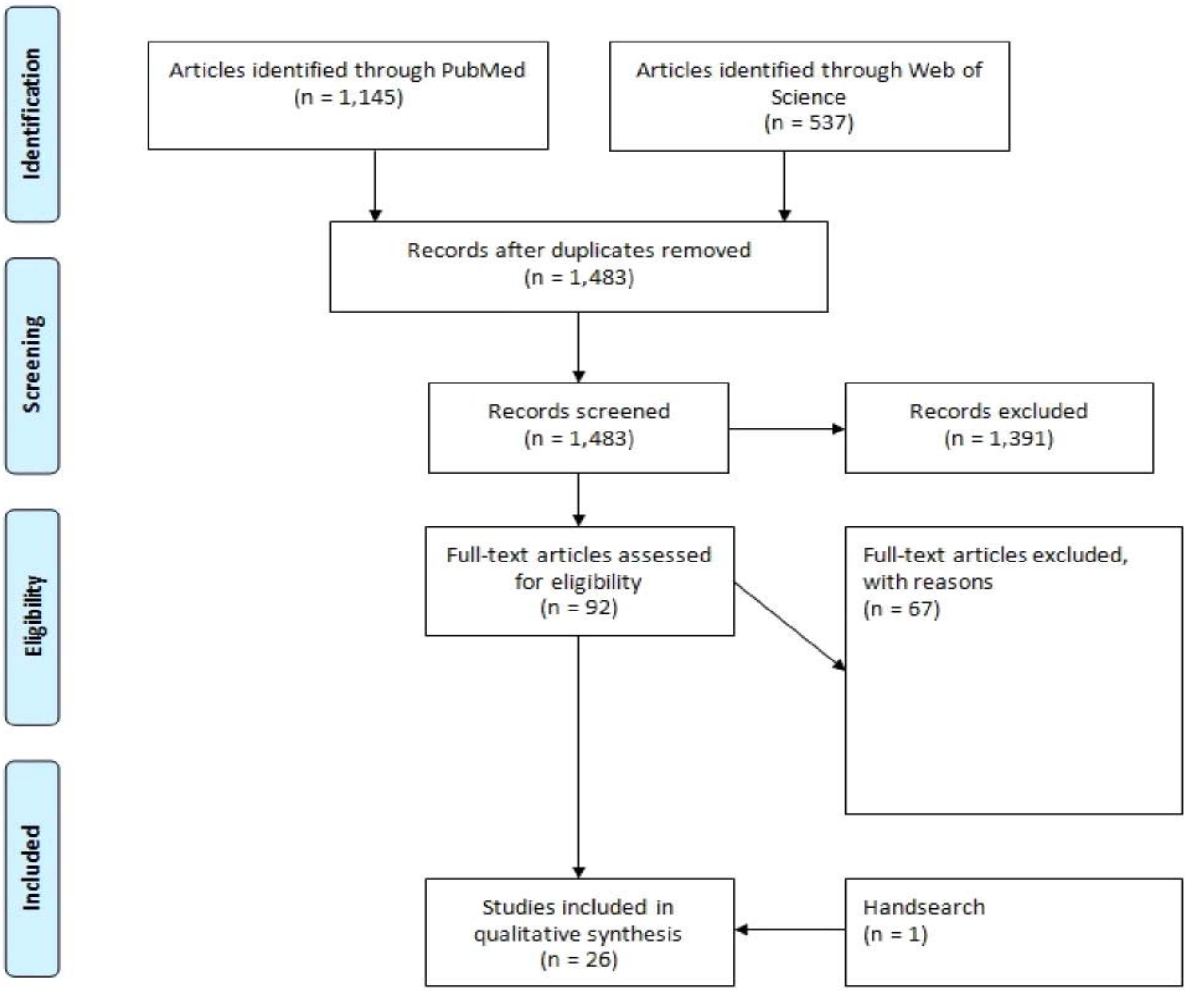


Abbildung 2: Methodik der Identifizierung relevanter Artikel für Einzelzielsetzung 2.3

4. DURCHFÜHRUNG

Die Autorengruppen für die verschiedenen Arbeiten für Einzelzielsetzung 2.1 wurden ausgewählt und die Autoren offiziell im März von „Cancer Epidemiology“ eingeladen. Editoren für das Special Issue sind GALnet-Mitglieder Dr. Joachim Schüz und Dr. Robert Newton.

Für Einzelzielsetzung 2.2 wurden die 26 als relevant identifizierten Arbeiten gesichtet, die relevanten Informationen extrahiert und qualitativ zusammengestellt. Von diesen Arbeiten wurden 25 über die Literatur-Recherche identifiziert und lediglich eine weitere Arbeit über das Sichten der Literaturlisten dieser Arbeiten und Internet-Recherche. Die Arbeiten stammen aus Algerien, Brasilien, Bulgarien, China, Ägypten, Indien, Iran, Mexiko, Rumänien, Serbien, Tunesien, Thailand, Türkei und Palästina. Messprotokolle sind nicht standardisiert und somit die Ergebnisse nur qualitativ vergleichbar.

5. ERGEBNISSE

5.1 GLOBALES VORKOMMEN VON ALL

Mit dem sogenannten „Basic Modell“ unter der Annahme eines gleichen Risikos für verschiedene Krebserkrankungen im Kindesalter unter Modellierung bekannter externer Risikofaktoren (hauptsächlich Infektionen wie HIV[1)] and EBV) wurden für 2015 weltweit 360 114 Kinderkrebs-Neuerkrankungen bei den Unter-15-Jährigen berechnet. Rohe Inzidenzraten schwanken zwischen 178 und 220 neu erkrankten Fällen pro 1 Million

[1)] Humanes Immundefizienz-Virus

Kinder. Diese Schätzung liegt somit 45 % höher als die mit GLOBOCAN[1)] geschätzten Neuerkrankungen und 35 % höher als die von der IARC im International Incidence of Childhood Cancer (IICC) Projekt über die Krebsregister gesammelten und hochgerechneten Fälle. Die im Rahmen des Global Childhood Cancer (GCC) Projektes geschätzte Zahl liegt hingegen um 10 % höher.

Im regionalen Vergleich mit IICC zeigen sich bei Anwendung des Basic Modells < 10 % höhere Fallzahlen für Südeuropa und Nordamerika, 10 - 20 % höhere Fallzahlen für Nordeuropa, Westeuropa und Ozeanien, 20 - 30 % höhere Fallzahlen für Ostasien, Westasien, Westafrika, Lateinamerika und Osteuropa, 30 - 40 % höhere Fallzahlen für Nordafrika und Südostasien, 40 - 50 % höhere Fallzahlen für Süd-Zentral-Asien, Ostafrika und Mittel-Afrika, sowie 75 % höhere Fallzahlen für das südliche Afrika. Nach dem Human Development Index (HDI) liegen die Unterschiede bei 17 % für „very high“, 28 % für „high“, 47 % für „medium“ und 36 % für „low“. Dies spricht für die Hypothese, dass in unzureichend ausgestatteten Gesundheitssystemen die Anzahl von Kinderkrebsfällen unterschätzt wird. Bei geographischen Vergleichen ist deshalb Vorsicht geboten.

5.2 ÜBERSICHT ZU MAGNETFELDEXPOSITIONEN VON KINDERN IN *LOW-MIDDLE INCOME COUNTRIES* (LMIC)

Von den 26 Studien, die sich in ihren Zusammenfassungen auf Kinder bezogen, beruhten nur 3 Publikationen auf Magnetfeldexpositionen. Die Übrigen waren Messungen von Feldquellen (z. B. Umspannwerke), in denen die Autoren darauf hinwiesen, dass Kinder potenziell exponiert sein könnten, Messungen in Gebäuden (mit ähnlicher Argumentation) und Messreihen in jungen Erwachsenen oder schwangeren Frauen. Die Studien zu Kindern sind im Folgenden zusammengefasst:

- Brasilien, 2011: Messungen vor den Wohnung von 2613 Kindern: < 0,1 µT (N = 1 316, 50,4 %), 0,1-0,3 µT (910, 34,8 %), ≥ 0,3 µT (387, 14,8 %); 24-Stunden-Messung im Kinderzimmer: Mittelwert für Kinder mit ALL: 0,104 µT, für Kinder ohne ALL: 0,113 µT; 8 von 2 613 Kindern lebten näher als 100 m an einer Freileitung.
- China, 2008: geschätzte Magnetfeldexposition für 66 Kinder, die in unterschiedlichen Entfernungen zu Freileitungen wohnten: Maximalwerte 0,13 µT (n = 19) in 500 m Entfernung, 0,14 µT (n = 13) in 100 m und 0,18 µT (n = 9) in 50 m, (n = 15 o. A.).
- Iran, 2007: geschätzte Magnetfeldexposition für 119 Kinder: ≥ 0,45 µT für 16,8 %, <0,45 µT für 83,2 %; Distanz zu Freileitung < 500 m 13,5 %, ≥ 500 m 86,5 %.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass zur Magnetfeldexposition von Kindern in *Low-Middle-Income Countries* de facto keine Daten vorliegen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das Vorhaben lieferte einen Beitrag zu den diskutierten Risikofaktoren für Leukämie im Kindesalter. Eine der offenen Fragen war, ob der Lebensstil in *High-Income Countries* für einen Teil der Leukämiefälle verantwortlich sein könnte, da niedrigere Inzidenzraten in LMIC beobachtet wurden. Die Ergebnisse des Projekts unterstützen jedoch die Hypothese, dass die Zahl von Kinderkrebsfällen in Ländern mit einem unzureichend ausgestatteten Gesundheitssystem bisher unterschätzt wurde und geographische Unterschiede möglicherweise kleiner sind als bisher angenommen. Bezüglich Magnetfeldexpositionen von Kindern in LMIC sind aufgrund fehlender Messdaten keine belastbaren Aussagen möglich.

Für den Strahlenschutz ergibt sich keine direkte Umsetzbarkeit der Ergebnisse. Da Leukämien im Kindesalter sehr seltene Erkrankungen sind, ergeben sich allerdings in dem internationalen Netzwerk neue Kontakte und neue Möglichkeiten spezielle Fragestellungen zu bearbeiten, die auf nationaler Ebene nicht möglich sind.

[1)] a Windows based software which provides access to a worldwide database of cancer incidence and mortality rates

Thema			
Charakterisierung von Exosomen nach In-vitro- und In-vivo-Bestrahlung als Marker der Strahlenexposition			
Subject			
Characterisation of exosomes after in vitro and in vivo irradiation as biomarker for radiation exposure			
Kennzeichen 3616S32260	**Beginn** 01.06.2016	**Ende** 31.05.2019	**Fördermittel** EUR 369.353,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München, Institut für Strahlenbiologie, Oberschleißheim			
Projektleitung PD Dr. S. Moertl	**Fachbetreuung BfS** Dr. S. Hornhardt / WR 1	**verantwortlich für den Text** PD Dr. S. Moertl	

1. ZIELSETZUNG

Exosomale microRNAs und Proteine wurden bereits als frühe nicht-invasive Biomarker für verschiedene Krankheiten etabliert. Ziel dieses Projekts war eine systematische Analyse der microRNA und Proteinbeladung von Exosomen, die nach ionisierender Strahlung freigesetzt werden. Aus den erhobenen Daten sollten Kandidaten-microRNAs und -Proteine identifiziert werden, die als Biomarker für Strahlenexposition eingesetzt werden können.

2. EINZELZIELSETZUNG

- Bericht zu Stand von Wissenschaft und Technik (AP 1)
- Charakterisierung des Proteoms von Exosomen (AP 2)
- Charakterisierung der Oberflächenproteine von Exosomen (AP 3)
- Bestimmung von microRNAs aus Exosomen (AP 4)
- Bestimmung von microRNAs und ausgewählten Proteinen in Exosomen von Radiotherapiepatienten (AP 5).

3. METHODIK

3.1 ISOLIERUNG VON EXOSOMEN

Die Isolierung von Exosomen erfolgte mittels Filtration und differentieller Zentrifugation aus konditioniertem Medium bzw. aus Plasma. Zunächst wurden Zellen und Zellfragmente durch Zentrifugation bei 10 000 g (30 min, 4 °C) entfernt. Anschließend wurde das Medium zur Entfernung größerer Vesikel filtriert (0,22 µm Porengröße). Das Filtrat wurde dann bei 100 000 g für 75 min bei 4 °C zentrifugiert. Der Überstand wurde vorsichtig entfernt und das Exosomenpellet in PBS[1)] resuspendiert. Nach einer weiteren Zentrifugation (100 000 g, 75 min, 4 °C) wurde das Pellet in PBS aufgenommen und bei -20 °C gelagert.

3.2 PROTEOMANALYSE

Proteomanalysen wurden an Gesamtzelllysaten durchgeführt. Die Probenvorbereitung, LC-MS/MS[2)]-Messung, markierungsfreie quantitative Analyse und Datenbank-Suchen wurden wie kürzlich beschrieben durchgeführt (Yentrapalli, 2017). Zusammengefasst wurden 5 µg Protein mittels filter-assistierter Probenvorbereitung (FASP) verdaut und dann durch LC-MS/MS-Messung an einem LTQ[3)] OrbittrapCL (Thermo Fisher Scientific), verbunden mit einem Ultimate3000 Nano High-performance Flüssig-Chromatopgraphie-System (Dionex), gemessen. Zur Identifizierung der Peptide wurde eine Sequenzhomologie von mindestens 89,5 % festgesetzt und Ladungen < +2 und > +7 wurden ausgeschlossen. Die Mascot-Suchmaschine (Matrix

---

1) Phosphat gepufferte Salzlösung
2) Liquid-Chromatographie-Massenspektometrie/Massenspektometrie
3) 2D-Ionenfallen-Massenspektrometer

Science, version 2.5.0) mit der Ensembl Human Datenbank (version 38, 31236148 residues, 83462 sequences) wurde zur Identifizierung eingesetzt.

3.3 BESTIMMUNG EXOSOMALER OBERFLÄCHENPROTEINE

Da Exosomen einen kleinen Durchmesser haben, können sie von Standard-FACS[1)]-Geräten nicht direkt detekiert werden. Deshalb wurden die Exosomen zunächst an Latex Beads gekoppelt. Dann erfolgte die immunologische Detektion der Oberflächenproteine.

3.4 RNA-SEQUENZIERUNG

Die Herstellung der Bibliotheken und die smallRNA-Sequenzierung erfolgten wie kürzlich beschrieben (Buschmann et al., 2018). Dazu erfolgte die Herstellung der Bibliotheken mittels NEBNext Multiplex Small RNA Library Prep Set for Illumina (New England BioLabs). Anschließend wurde eine Größenselektion der Bibliotheken mittels hochauflösender Gelelektrophorese (4 % Agarose) durchgeführt und DNA-Banden im Größenbereich von miRNAs wurden extrahiert. Nach einer abschließenden Qualitätskontrolle (High Sensitivity DNA Assay, 2100 Bioanalyzer, Agilent Technologies) wurden die Bibliotheken durch Illumina „*single-end squencing by synthesis*“ unter Verwendung von 50 Zyklen auf einem HiSeq2500 (Illumina) analysiert.

3.5 BESTIMMUNG VON KANDIDATEN-MICRORNAS UND PROTEINEN

Die Expressionsbestimmung ausgewählter miRNAs erfolgte mittels quantitativer real-time PCR. Dazu wurde das TaqMan Advanced MicroRNA cDNA Synthesis Kit (Applied Biosystems) und das TaqMan Advanced miRNA Kit (Applied Biosystems) verwendet. Die Quantifizierung spezifischer exosomaler Proteine erfolgte mittels Western Blot an jeweils 20 µg Exosomenlysat.

3.6 PATIENTENKOLLEKTIV

Die untersuchten Proben sind Bestandteil der IMEP-Studie (Immunologische und epigenetische Phänomene der lokalen Strahlentherapie), die im Zeitraum von August 2012 bis Mai 2013 am Klinikum Rechts der Isar (München) durchgeführt wurde. Die Proben wurden von Brustkrebspatientinnen gewonnen, die bei einem invasiven Mamma-Karzinom mit einer adjuvanten Strahlentherapie nach Brusterhaltender Operation behandelt wurden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ISOLIERUNG UND QUALITÄTSKONTROLLE ISOLIERTER EXOSOMEN

Exosomen wurden aus Zellkulturmedium isoliert, welches zuvor durch mindestens 1 x 10^7 Zellen für 24 h konditioniert wurde. Die Isolierung erfolgte wie in 3.1 beschrieben. Zur Qualitätskontrolle der Exosomenpräparationen wurde mit allen Präparationen ein Nachweis publizierter und allgemein anerkannter Exosomenmarkerproteine (Alix, CD63, CD9) erfolgreich durchgeführt (Abb. 1A). Um zelluläre Verunreinigungen auszuschließen wurden die Proben auf Calnexin (CNX) untersucht. Zusätzlich wurden für alle isolierten Vesikel die Konzentration und der Durchmesser mittels Nanopartikeltracking-Analyse durchgeführt. Es wurden Durchmesser zwischen 120 - 165 nm bestimmt (Abb. 1B).

[1)] Fluorescence Activated Cell Sorting

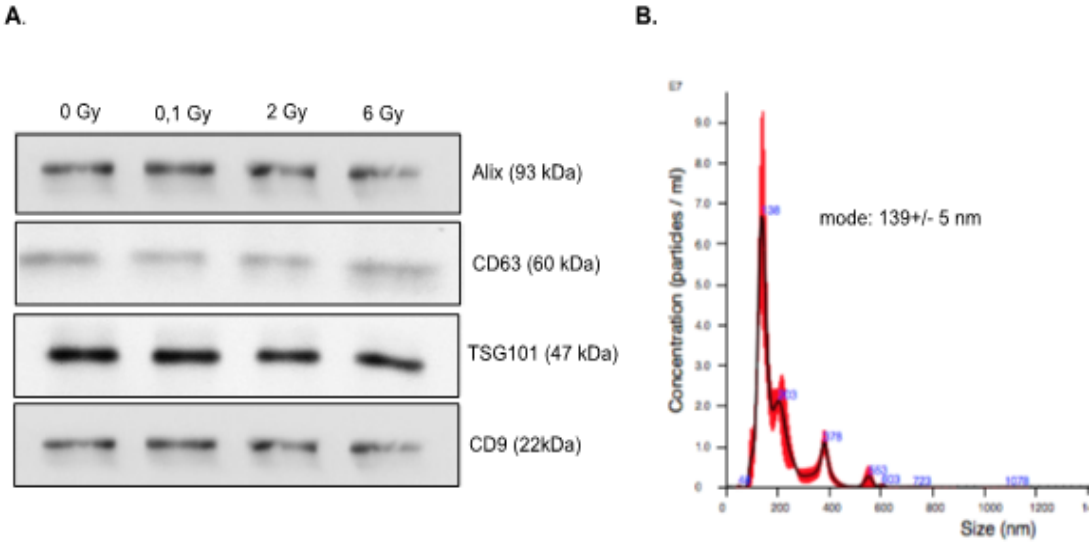


Abbildung 1: Qualitätskontrolle von Exosomenpräparationen. A. Nachweis exosomaler Markerproteine mittels Western Blot in Exosomen aus der Fibroblastenzelllinie 1BR.3 B. Größen- und Konzentrationsbestimmung von Exosomen aus unbestrahlten 1BR.3 Zellen mittels Nanosight.

5. ERGEBNISSE

5.1 CHARAKTERISIERUNG DES PROTEOMS VON EXOSOMEN (AP 2)

In diesem Arbeitspaket wurde die Proteinbeladung von Exosomen aus Epithel-Fibroblasten-, Endothelzelllinien und primären Lymphozyten untersucht. Je nach Zelltyp wurden zwischen 140 und 600 verschiedene Proteine identifiziert. Ein beträchtlicher Anteil dieser Proteine wurde in allen Zelltypen gefunden (Abb. 2, links). In allen Zelltypen wurden strahleninduzierte Veränderungen nachgewiesen. Diese Veränderungen waren meist zelltyp-spezifisch, nur acht Proteine wurden in allen Zellsystemen als strahlenreguliert gefunden (Abb. 2, rechts). Interessanterweise konnte für einige Proteine eine Dosis-abhängige Regulation gefunden werden, was diese als Kandidaten in der Biodosimetrie nahelegt.

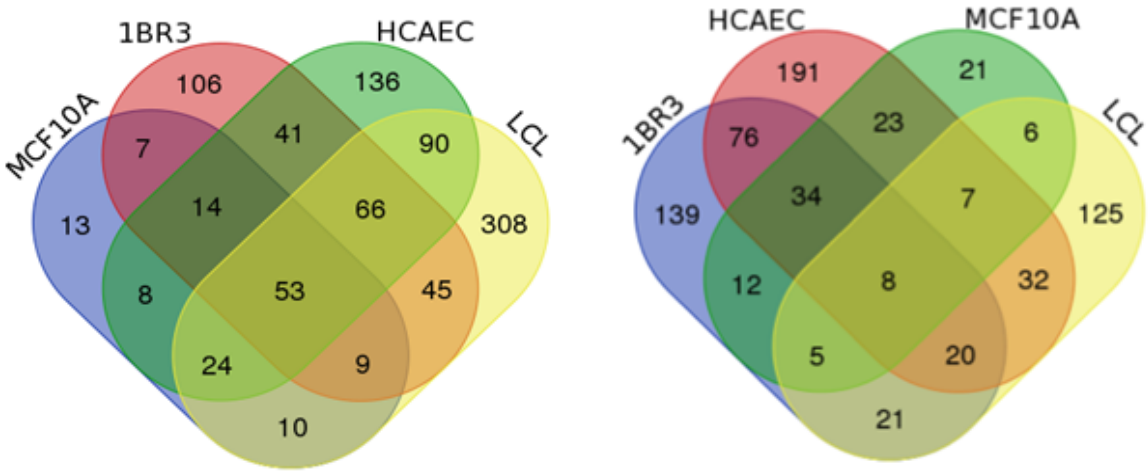


Abbildung 2: Venn-Diagramm zur Darstellung identifizierter und strahlenregulierter exosomaler Proteine. Gezeigt ist die Anzahl der detektierten Proteine (links) und die Anzahl der strahlen-regulierten-Proteine (alle Dosen) (rechts) in den vier untersuchten Zellsystemen.

Ein reproduzierbarer Nachweis ausgewählter Proteine konnte an den 24 und 48 h nach Bestrahlung gewonnenen Isolaten mittels Western Blot durchgeführt werden. 12 h nach Behandlung gewonnene Exosomenisolate zeigten keinen reproduzierbaren Nachweis von Proteinen. Es ist davon auszugehen, dass die zu diesem Zeitpunkt akkumulierte Menge an Exosomen für einen Nachweis der Proteine mittels Immunoblot nicht ausreichte.

Tabelle 1: Übersicht über die mittels Massenspektrometrie detektierte Menge ausgewählter Proteine und deren strahlen-induzierte Regulation

Spalte1	CD9	CD63	LGALS3BP	MVP	ITIH4
1BR3_0Gy	1800000	41000000	13000000	124000000	5500000
1BR3_0,1Gy	0,6	0,9	0,8	**0,4**	0,9
1BR3_2 Gy	**0,4**	1,4	**2,6**	**0,3**	**0,7**
1BR3_6 Gy	**0,4**	1,5	**2,9**	**0,4**	**0,5**
HCAEC_0 Gy	34000000	2600000	146000000	4400000	n.d.
HCAEC_0,1Gy	0,8	1	1	0,8	
HCAEC_2Gy	0,7	0,8	0,9	**0,5**	
HCAEC_6Gy	0,8	1	**0,7**	0,8	
MCF10A_0Gy	24000000	4500000	17000000	490000	130000
MCF10A_0,1Gy	0,8	0,7	2	1	**1,8**
MCF10A_2Gy	1,2	0,9	**1,8**	**1,3**	**3,1**
MCF10A_6Gy	**1,3**	0,7	**2,1**	1,2	**3,2**
LCL_0Gy	9500000	33000000	5200000	73000000	29000000
LCL_0,1Gy	0,8	1	0,8	**1,3**	0,6
LCL_2Gy	0,9	0,9	0,9	**1,6**	**0,5**
LCL_6Gy	0,9	0,9	0,9	1,2	**0,4**

in fett: signifikante Veränderungen (Student T-Test, $p < 0,05$)

In Spalte 1 ist die Spenderzelllinie und die eingesetzte Dosis angegeben. Der Wert bei 0 Gy gibt die mittlere Abundanz des Proteins an. Die Werte bei 0,1, 2 und 6 Gy zeigen die n-fache Veränderung im Vergleich zu den 0 Gy Proben, n. d. nicht detektiert.

5.2 CHARAKTERISIERUNG DER OBERFLÄCHENPROTEINE VON EXOSOMEN (AP 3)

Insgesamt zeigten diese Versuche, dass ionisierende Strahlung in der Lage ist die Proteinbeladung an der Exosomenoberfläche zu verändern, wobei sowohl Expressionserniedrigungen als auch Erhöhungen zu beobachten waren. Ein Vergleich der Regulation bei den verschiedenen Dosen ergab meist nur geringe Veränderungen bei 0,1 Gy, erst die Dosen von 2 und 6 Gy führten zu deutlichen Änderungen. Ein Vergleich mit den mittels Massenspektrometrie ermittelten Proteinveränderungen zeigte eine gute Übereinstimmung zwischen beiden Versuchsansätzen (Tabelle 1). Sowohl die basale Proteinepression als auch der Grad der Regulation ist aus den relativen Änderungen der mittleren Fluoreszenz ersichtlich. Aus methodischer Sicht zeigt dieser Vergleich, dass diese Bead-basierte Analyse von Exosomen eine schnelle, technisch wenig aufwändige Alternative zu Massenspektrometrie oder Western Blot zur Quantifizierung von Oberflächenproteinen darstellt. Ein weiterer Vorteil ist der deutlich geringere Bedarf an Ausgangsmaterial. Aus biologischer Sicht bedeuten diese Ergebnisse, dass sich zumindest ein Teil der Proteine CD9, CD63, LGALS3BP, MVP und ITIH4 auf der Exosomenoberfläche befindet und die beobachteten Veränderungen in der Proteinmenge auch dort stattfinden. Interessanterweise sind einige Veränderungen zelltypspezifisch. Die größten Unterschiede zwischen den Zelltypen zeigte ITIH-4. Dieses Protein wurde nur in Exosomen aus Fibroblasten, Epithelzellen und Leukozyten gefunden und zeigte unterschiedliche strahleninduzierte Regulationen. Zu welchen funktionellen Konsequenzen diese Veränderungen führen muss in zukünftigen Versuchen geklärt werden.

5.3 BESTIMMUNG VON MICRORNAS AUS EXOSOMEN (AP 4)

In diesem Arbeitspaket wurde die microRNA-Beladung von Exosomen in vier verschiedenen Zellsystemen bestimmt und es wurde gezeigt, dass ionisierende Strahlung Veränderungen in der microRNA-Zusammensetzung von Exosomen induziert. Bezüglich der microRNA-Beladung von Exosomen wurde eine relativ große Gruppe von microRNAs bestimmt, die in allen Zelltypen gefunden wurde. Dagegen waren die Veränderungen überwiegend zelltypspezifisch und keine einzige microRNA wurde in allen Zelltypen als strahlenreguliert gefunden. Interessanterweise konnte für einige microRNAs eine Dosis-abhängige Regulation gefunden werden, was diese als Kandidaten in der Biodosimetrie nahelegt. Eine strahleninduzierte Regulation konnte für ausgewählte microRNAs mittels qPCR bestätigt werden.

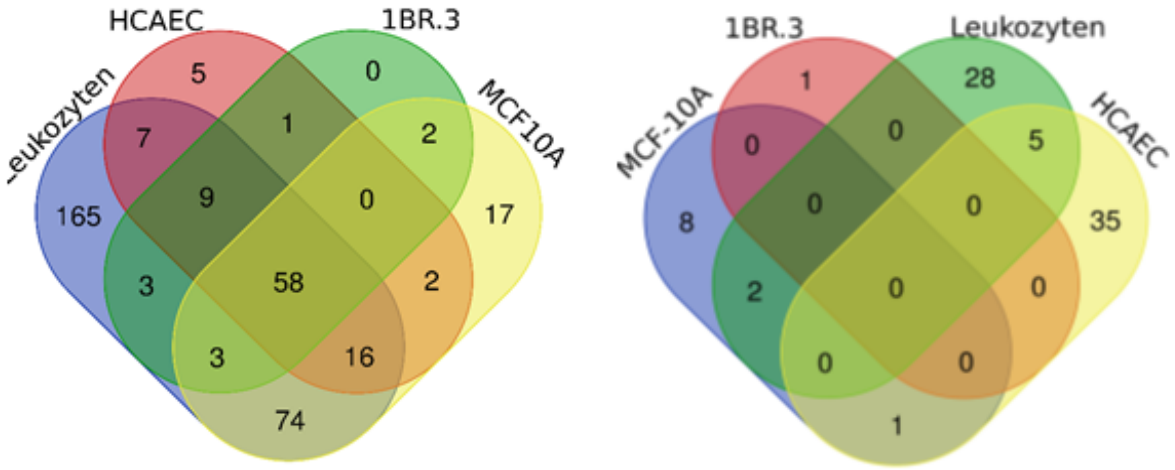


Abbildung 3: Venn-Diagramm zur Anzahl detektierter microRNAs in Exosomen aus den vier verschiedenen Zellsystemen (links), Anzahl strahlen-regulierter microRNAs in allen vier Zellsystemen (rechts)

Die in dieser Studie identifizierten strahlen-regulierten microRNAs sollten unter weiteren experimentellen Bedingungen untersucht werden, um deren zeit- und dosis-abhängige Regulation detaillierter aufzuklären. Ebenso wie die Proteinzusammensetzung von Exosomen aus Leukozyten ermutigen auch die Daten der microRNA-Analysen zu weiteren Projekten, in denen das Potential exosomaler microRNAs in der Biodosimetrie analysiert wird.

5.4 BESTIMMUNG VON MICRORNAS UND AUSGEWÄHLTEN PROTEINEN IN EXOSOMEN VON RADIOTHERAPIEPATIENTEN (AP 5)

In diesem Arbeitspaket wurden strahleninduzierte Veränderungen in der Protein- und microRNA-Zusammensetzung von Exosomen aus dem Blut von Strahlentherapiepatienten nachgewiesen. Analysiert wurden Kandidatenmoleküle, die zuvor als strahlenveränderte Komponenten in Exosomen aus Lymphozyten von gesunden Spendern identifiziert wurden. Insgesamt wurden fünf microRNAs (let-7e, miR-34a-5p, miR-106a-p, miR-155-5p, miR-451a) und vier Proteine (ENO1, ITIH4, Ku70, VWF) analysiert.
Alle fünf microRNAs zeigten zu beiden Analysenzeitpunkten (6 Wochen bzw. 3 Monate nach Bestrahlungsende) in den meisten Patienten Veränderungen im Vergleich zu unbestrahlten Proben. Dies deutet darauf hin, dass eine Strahlentherapie länger anhaltende Veränderungen in Plasma-ständigen Exosomen induziert. Eine über alle Patienten signifikante Veränderung zeigte miR-155-5p, welche auch akut nach Bestrahlung in Exosomen aus Lymphozyten verändert war. Von den analysierten Proteinen konnte für ITIH4 eine strahleninduzierte Deregulation in allen analysierten Patienten festgestellt werden. Sowohl miR-155-5p als auch ITIH4 sind funktionell an der Regulation von Entzündungsprozessen beteiligt. In zukünftigen Studien ist es nun wichtig zu untersuchen, ob diese Veränderungen in den Exosomen mit klinischen Parametern, wie z. B. dem Therapieansprechen, oder mit Nebenwirkungen korreliert sind. Da Exosomen von Zellen aufgenommen werden können und deren Phänotyp beeinflussen, stellt sich auch die Frage, inwieweit erhöhte miR-155-5p- und ITIH4-Level die Funktionen von potentiellen Empfängerzellen beeinflussen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Studie konnte zeigen, dass Vesikel bzw. Exosomen, die von bestrahlten Zellen abgegeben werden,

- sich in ihrer Beladung durch den Zelltyp, der sie abgegeben hat, unterscheiden und
- ihre Beladung (Proteine und microRNAs) durch Strahlung verändert wird.

Bei einigen Proteinen und microRNAs aus den Exosomen wurde eine Dosisabhängigkeit festgestellt, so dass möglicherweise eine biologische Dosimetrie - ein Nachweis einer Exposition mit biologischen Markern - getestet werden kann. Für die Zellkommunikation bedeuten die Ergebnisse, dass in einem Organismus Signale über weite Strecken an andere Zellen weitergegeben werden können. Hierbei ist an Bystander-Effekte und abscopale Effekte zu denken, bei denen nicht bestrahlte Zellen oder Organe auf Strahlung reagieren. Die Daten aus Strahlentherapiepatienten (Teilkörperbestrahlung) zeigen, dass auch nach Therapieende (hier bis zu 3 Monate) veränderte Exosomen im Blut nachweisbar waren. Diese fördern möglicherweise Entzündungen. Für die Nachsorge der Patienten könnte dies ein wichtiger Parameter sein, um Spätfolgen zu erkennen und zu behandeln. Die Studie erbrachte also in zwei Bereichen wichtige neue Erkenntnisse, die möglicherweise zur Erkennung von Strahlenexposition, aber auch zur Verbesserung der Strahlentherapie eingesetzt werden können.

2.2 Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

2.2 Subject area 04
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema Erhebung der Medizinischen Strahlenexposition in der Nationalen Kohorte			
Subject *Survey of medical radiation exposure in the German National Cohort*			
Kennzeichen 3616S42233	**Beginn** 01.03.2017	**Ende** 30.09.2019	**Fördermittel** EUR 399.15,-
Forschungs- / Auftragnehmer Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie - BIPS, Bremen			
Projektleitung Prof. Dr. H. Zeeb	**Fachbetreuung BfS** Dr. M. Schnelzer / WR 3	**verantwortlich für den Text** Prof. Dr. H. Zeeb	

1. ZIELSETZUNG

Es sollte die medizinische Strahlenexposition von (geplant) 3000 Studienteilnehmenden der NAKO[1)]-Gesundheitsstudie retrospektiv und mittels eines entsprechenden Fragebogens und Röntgenpasses prospektiv erfasst werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt wurde in 3 Arbeitspaketen (AP) bearbeitet:

- Vorbereitung (AP 1)
- Rekrutierungsstart und erster Teil Erhebung (AP 2)
- Fortsetzung der Erhebung und Auswertung (AP 3).

Die Ergebnisse von AP 1 gingen in AP 2 und AP 3 ein und werden nicht gesondert berichtet.

2.1 REKRUTIERUNGSSTART UND ERSTER TEIL DER ERHEBUNG (AP 2)

Das Arbeitspaket verfolge die Zielsetzung, mit der praktischen Rekrutierung von NAKO Studienteilnehmenden für das Level-3-Projekt zu beginnen und umfasste dabei die nachfolgend genannten Einzelziele:

- Etablierung der Verfahren vor Ort
- Rekrutierungsbeginn
- Bericht zur Einbindung und Response
- Erstellung und Testung einer Datenbank für prospektive Angaben des Fragebogens und Röntgenpasses.

2.2 FORTSETZUNG DER ERHEBUNG UND AUSWERTUNG (AP 3)

Im AP 3 wurde die Erhebung fortgesetzt und die Datenauswertung durchgeführt. Die Einzelziele waren:

- Durchführung und Supervision der Erhebung (inkl. Follow-up-Fragebögen)
- Zusammenführung der Angaben der prospektiven Erfassung
- Auswertungen
- Berichterstellung inkl. Abschlussbericht.

3. METHODIK

Die als Level-3-Studie in der NAKO-Gesundheitsstudie durchgeführte Untersuchung fand zusätzlich zum NAKO-Basisprogramm an vier Studienzentren statt. An jedem der beteiligten Studienzentren (Bremen, Essen, Neubrandenburg und Augsburg) sollten bei ca. 750 konsekutiv ausgewählten Studienteilnehmenden, die an der NAKO-Gesundheitsstudie teilnehmen, Daten zur retrospektiven Strahlenexposition und deren Indika-

[1)] Nationale Kohorte

tionen erhoben und die prospektive Erhebung der medizinischen Expositionen und Indikationen initiiert werden. Diese Zahl wurde insgesamt deutlich übertroffen.
Für die retrospektive Erfassung wurde eine modifizierte Version des in einer früheren Machbarkeitsstudie entwickelten Fragebogens als Touchscreen und optional als Take-Home Papierversion eingesetzt. Für die prospektive Erfassung wurde ein kurzer Follow-up-Fragebogen sowie ein NAKO-Röntgenpass konzipiert und eingesetzt. Statistische Auswertungen wurden mit üblichen Methoden der deskriptiven Statistik durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 VORBEREITUNG (AP 1)

Der Level-3-Vertrag mit der NAKO-Gesundheitsstudie wurde geschlossen, alle Verfahren wurden erfolgreich an den Studienstandorten etabliert.

4.2 REKRUTIERUNGSSTART UND ERSTER TEIL DER ERHEBUNG (AP 2)

Nach Erhebungsbeginn am Standort Bremen im Oktober 2017 erfolgte der Rekrutierungsstart konsekutiv bis April 2018 an den verbleibenden Studienzentren. Die prospektive Follow-up-Erhebung startete Ende August und Ende September 2018 an den Standorten Bremen, Essen und Neubrandenburg. Am Standort Augsburg wurde auf Grund des verspäteten Rekrutierungsstarts 2018 keine Follow-up-Erhebung durchgeführt.

4.3 FORTSETZUNG DER ERHEBUNG UND AUSWERTUNG (AP 3)

Die Aussendung der Erinnerungen an den Studienzentren Essen und Neubrandenburg folgte im Oktober 2018. Die Rückläufe der Follow-up-Kontaktierung sowie die der Erinnerungsphase wurden an allen beteiligten Standorten im weiteren Verlauf registriert und die entsprechenden Informationen in die Organisations- und Dokumentationsdatenbank an den einzelnen Studienzentren eingegeben. Nach Datenbereitstellung durch das NAKO-Integrationszentrum erfolgte die deskriptive Auswertung in Bremen.

5. ERGEBNISSE

5.1 REKRUTIERUNGSSTART UND ERSTER TEIL DER ERHEBUNG (AP 2)

Bis August 2018 wurde an allen Studienzentren erfolgreich rekrutiert. Die Untersuchung ließ sich weitgehend problemlos in die NAKO-Basisuntersuchung integrieren.

Alle Follow-up-Dokumente für die prospektive Erfassung wurden gemeinsam abgestimmt und erstellt. Studienzentrumsübergreifende Prozessabläufe wurden implementiert.

Am Standort Bremen wurde eine Organisations- und Dokumentationsdatenbank für die Durchführung der prospektiven Erhebung entwickelt und den anderen Standorten zur Verfügung gestellt.

Die prospektive Follow-up-Erhebung startete zeitverschoben an den Standorten Bremen Ende August 2018 sowie Mitte bzw. Ende September 2018 in Essen und Neubrandenburg.

Nach Datenbereinigung lagen Daten der Basiserhebung zu insgesamt 3 923 erfolgreich eingeschlossenen Studienteilnehmenden (Teilnahmerate: 79,4 % in Bezug auf alle in diesem Zeitraum an der NAKO-Studie Teilnehmenden der Studienzentren).

5.2 FORTSETZUNG DER ERHEBUNG UND AUSWERTUNG (AP 3)

Im ersten Follow-up konnte eine Rücklaufquote von 68 %, im 2. Follow-up von 55 % der Baseline-Studienteilnehmenden erzielt werden.

Insgesamt haben nur wenige Studienteilnehmende ihr Einverständnis zur Teilnahme an der Level-3-Studie im bisherigen Studienverlauf zurückgezogen.

Tabelle 1 zeigt die Teilnahmecharakteristika bei der Basiserhebung.

Tabelle 1: Teilnahmecharakteristika der Basiserhebung (SD = Standardabweichung)

Charakteristika	keine Untersuchungen	mindstens eine Untersuchung	Gesamtkohorte
	Studienteilnehmende (%)	Studienteilnehmende (%)	Studienteilnehmende (%)
alle	1206 (31 %)	2717 (69 %)	3923
weiblich	601 (31 %)	1356 (69 %)	1957
männlich	605 (31 %)	1361 (69 %)	1966
mittleres Alter	43,9 (SD: 12,6)	51,2 (SD: 11,7)	48,9 (SD: 12,5)
< 40 Jahre	462 (50 %)	456 (50 %)	918
40-50 Jahre	355 (32 %)	764 (68 %)	1119
> 50 Jahre	389 (31 %)	1497 (79 %)	1886

Etwa zwei Drittel der Studienteilnehmenden (n = 2 717) berichteten mindestens eine radiologische Untersuchung in der Vergangenheit erhalten zu haben. Das mittlere Alter der exponierten Studienteilnehmenden lag bei 51,2 Jahren (SD: 11,7).

Computertomographien (n = 4 193; 41 %), allgemeine Röntgenuntersuchungen (n = 2 573; 25 %) und nuklearmedizinische Untersuchungen/Diagnostik (n = 1 490; 14 %) stellen insgesamt 80 % aller berichteten Untersuchungen in der Basiserhebung dar.

Radiologische Untersuchungen im Follow-up-Zeitraum wurden von knapp einem Drittel der Studienteilnehmenden berichtet. Allgemeine Röntgenuntersuchungen (n = 757, 61 %), Computertomographie (n = 292, 23 %) und nuklearmedizinische Untersuchungen / Diagnostik (n = 90, 7 %) stellen über 90 % aller berichteten Untersuchungen seit Besuch des Studienzentrums dar.

In Bezug auf die Erfassung der Indikationen wurden in der niedrigsten Altersgruppe (< 40 Jahre) vor allem (Erkrankungs-)unspezifische Indikationen und Untersuchungen auf Grund von Stürzen bzw. Unfällen sowie auf Grund von Wirbelsäulenschmerzen berichtet. In der Altersgruppe 40-50 Jahre waren vergleichbare Muster bei den Indikationen und Untersuchungsarten zu verzeichnen.
Schilddrüsenszintigraphien waren auffällig häufiger, ebenso wurden vermehrt Durchleuchtungen berichtet (Indikation: unspezifisch, Darstellung des Magen-Darm-Trakts). Untersuchungen auf Grund von Bandscheibenvorfällen und Wirbelsäulenschmerzen wurden bedeutender. In der Altersgruppe > 50 Jahre haben altersbedingte Indikationen, wie Wirbelsäulenschmerzen oder Bandscheibenvorfälle weiter an Bedeutung gewonnen. Zudem wurden häufiger interventionelle Röntgenuntersuchungen und Durchleuchtungen berichtet (Indikation: Herzkatheter, Skelett / Knochen, Lunge / Herz / Niere; Darstellung Magen-Darm-Trakt).

Die Indikationen bei den neu berichteten Untersuchungen waren insgesamt vergleichbar zu den bei der Basiserhebung berichteten. Die Bandbreite der genannten Indikationen war groß.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Für den Strahlenschutz ist die Kenntnis der Verteilung medizinischer Strahlenanwendungen (nach Alter und Geschlecht), deren Indikation und die Entwicklung über die Jahre von Bedeutung. Die NAKO-Gesundheitsstudie liefert die Möglichkeit, die individuelle medizinische Strahlenexposition in einer langfristigen und groß angelegten Studie zu erheben und zu bewerten. Die im Rahmen des Projektes etablierten Strukturen für die Erhebung dieser Daten sollen in einem Folgeprojekt weiter genutzt werden und längsschnittlich weitere Informationen zur medizinischen Strahlenexposition der bereits rekrutierten Stichprobe erhoben werden. Zudem sind eine Erweiterung der Stichprobe und die Nutzung von Sekundärdaten der Krankenkassen geplant.

Thema			
Bewertung des Einsatzes von Dosismanagement-Systemen zur Optimierung von Röntgenanwendungen in verschiedenen Röntgeneinrichtungen			
Subject			
Evaluation of the implementation of dose-management-systems used for optimising diagnostic X-ray applications in different facilities			
Kennzeichen 3616S42432	**Beginn** 01.03.2017	**Ende** 31.07.2019	**Fördermittel** EUR 263.452,-
Forschungs- / Auftragnehmer Klinikum Nürnberg			
Projektleitung Dr. J. Hartmann	**Fachbetreuung BfS** S. Trinkl / MB 3	**verantwortlich für den Text** Dr. J. Hartmann, J. Singer	

1. ZIELSETZUNG

Das Vorhaben zur Bewertung des Einsatzes von Dosismanagement-Systemen (DMS) in der Röntgendiagnostik und der interventionellen Radiologie betrachtete deren Handhabung in Hinblick auf Optimierung von Röntgenanwendungen sowie die Einhaltung von Dosisreferenzwerten (DRW) und internen Dosisschwellen. Dabei wurden nötige Prozessabläufe untersucht und erfasste Expositionsdaten analysiert. Erkenntnisse zur Nutzung und Integration eines DMS in Praxen und Krankenhäusern wurden in Form eines Leitfadens für Anwender und Betreiber zusammengetragen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben war in vier Arbeitspakete (AP) unterteilt. Diese behandelten

- die Auswahl und Vereinheitlichung häufig angewandter Strahlenanwendungen (AP 1)
- die zeitweise Erfassung von dosisrelevanten Parametern jeweils vor und nach Optimierung von Protokollen (AP 2)
- die Dokumentation und Analyse zur Einhaltung von Referenzwerten (AP 3).

Zum Abschluss sollte ein Leitfaden als Orientierungshilfe für Anwender erstellt werden (AP 4).

2.1 AUSWAHL DER ZU ERFASSENDEN MEDIZINISCHEN STRAHLENANWENDUNGEN UND VEREINHEITLICHUNG DER UNTERSUCHUNGSNAMEN (AP 1)

Es waren medizinische Strahlenanwendungen für die AP 2 und 3 festzulegen. Die Auswahl sollte Strahlenanwendungen an erwachsenen Patienten aus dem 2016 aktualisierten DRW-Katalog vom Bundesamt für Strahlenschutz enthalten. Zu den ausgewählten Untersuchungs- und Eingriffsarten waren Filter zu definieren, die die Untersuchungsprotokolle möglichst eindeutig den Standarduntersuchungen (z. B. Organbereich eines DRW) zuordnet.

2.2 WIRKUNG VON DOSISMANAGMENTSYSTEMEN AUF DIE OPTIMIERUNG VON DOSISRELEVANTEN PARAMETERWERTEN (AP 2)

In AP 2 war das Potenzial von DMS auf die Optimierung von Strahlenanwendungen zu erfassen und zu bewerten.

2.3 KONTINUIERLICHE ERFASSUNG DER EINHALTUNG VON DRW MITTELS DMS (AP 3)

Gegenstand von AP 3 war die über ein Jahr hinweg kontinuierliche Erfassung von Dosisausgangsgrößen der in AP 1 festgelegten Standarduntersuchungen, um die Einhaltung der DRW zu überprüfen. Dazu waren statistische Kenngrößen (1. und 3. Quartil, gleitende Mittelwerte) zu berechnen und etwaige Überschreitungen von DRW und internen Referenzwerten zu überprüfen.

2.4 ERSTELLUNG EINES LEITFADENS FÜR ANWENDER VON DOSISMANAGEMENT-SYSTEMEN (AP 4)

Das AP 4 befasste sich mit der Erstellung eines Leitfadens für Anwender von DMS. In den Leitfaden sollten unter anderem die Ergebnisse der vorherigen Arbeitspakete, erforderliche Eigenschaften von DMS in Abhängigkeit der Institutionsgröße und Empfehlungen zum Umgang mit derartigen Systemen einfließen.

3. METHODIK

3.1 DOSISMANAGEMENTSYSTEME

Zur Erfassung und Auswertung von Expositionsdaten wurden neben kommerziellen Systemen auch eine Eigenentwicklung und eine Open-Source-Software verwendet. Probleme bei der Ermittlung der Ergebnisse wurden dokumentiert und erläutert.

3.2 AUSWAHL DER STRAHLENANWENDUNGEN

Hierbei lag besonderes Augenmerk auf interinstitutionell häufig durchgeführten Anwendungen, für die ein DRW bekannt war, und solchen, deren hohe Strahlenexpositionen Grund für die explizite Betrachtung waren.

3.3 FILTER / KLASSIFIZIERUNG

Um eine einheitliche Nomenklatur für die zum Vergleich stehenden Anwendungen einzuführen, fand eine Klassifizierung der unterschiedlichen Protokolle nach RadLex Playbook - eine internationale Form der Standardisierung radiologischer Verfahren - statt.

3.4 DOKUMENTATION UND ANALYSE

Zur Klassifizierung der Protokollnamen wurden sämtliche erfasste Daten in ein Tabellenkalkulationsprogramm übertragen, in dem die Ergebnisse der unterschiedlichen Geräteausstattungen der Projektpartner zusammengefasst wurden.

3.5 PROJEKTTEAM

Ein Projektteam, bestehend aus Mitarbeitern dreier Universitätskliniken, eines kommunalen Klinikums und einer Privatklinikgruppe, befasste sich mit der Durchführung des Forschungsvorhabens. Alle Projektpartner verfügten bereits über ein DMS und hatten im Vorfeld damit Erfahrung sammeln können. Kooperierend nahmen zwei radiologische Praxen am Projekt teil, die je ein bestehendes DMS eingesetzt haben, sowie eine Praxis, die im Rahmen des Vorhabens ein neues System erhalten hat.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUSWAHL DER ZU ERFASSENDEN MEDIZINISCHEN STRAHLENANWENDUNGEN UND VEREINHEITLICHUNG DER UNTERSUCHUNGSNAMEN (AP 1)

Für AP 1 wurden zu erfassende medizinische Strahlenanwendungen festgelegt. Die Auswahl orientierte sich an den aktuellen DRW der Röntgendiagnostik, der interventionellen Radiologie und der Nuklearmedizin. Die Liste wurde von den teilnehmenden Einrichtungen durch häufig durchgeführte Untersuchungen und Anwendungen mit hohen Expositionswerten ergänzt und in den Arbeitspaketen 2 und 3 berücksichtigt.

Die Vereinheitlichung der Untersuchungsarten erfolgte anhand des RadLex Playbook. Eine durchgängige Zuordnung nach RadLex hat sich im Verlauf als nicht praktisch erwiesen, da sich das RadLex Playbook auf Untersuchungsarten in der Radiologie und Nuklearmedizin beschränkt und beispielsweise Begriffe für Interventionen kaum gelistet sind. Andere Systeme zur Vereinheitlichung der Nomenklatur, wie z. B. LOINC (Logical Observation Identifiers Names and Codes) konnten sich nicht als Alternative bewähren.

Für die möglichst eindeutige Zuordnung von Untersuchungsprotokollen zu ausgewählten Untersuchungs- und Eingriffsarten wurden Filter auf erfasste DICOM[1)]-Tags angewandt. Hierfür bot das Klassifikationsmodul von

[1)] Digital Imaging and Communications in Medicine

IVEU[1)] die Grundlage, das bereits praxiserprobt in der Ärztlichen Stelle Hessen eingesetzt wird. Dies erlaubt eine korrekte Einordnung von Untersuchungsarten zwischen 90 % und 100 %.

Die ausgewählten Strahlenanwendungen wurden herangezogen, um die Aufgaben der folgenden Arbeitspakete - „Wirkung von DMS auf die Optimierung von dosisrelevanten Parameterwerten“ (AP 2) und „Kontinuierliche Erfassung der Einhaltung von DRW mittels DMS“ (AP 3) - zu erfüllen.

4.2 WIRKUNG VON DOSISMANAGMENTSYSTEMEN AUF DIE OPTIMIERUNG VON DOSISRELEVANTEN PARAMETERWERTEN (AP 2)

Zur Bewertung des Potenzials von DMS für die Optimierung von Strahlenanwendungen wurden über einen Zeitraum von 6 Monaten dosisrelevante Parameter aus den in AP 1 festgelegten Untersuchungsarten erfasst. Nach erfolgten Dosisoptimierungsmaßnahmen wurden erneut die Parameter über 6 Monate erfasst und das Optimierungspotenzial über das DMS bewertet. Lokale Referenzwerte wurden zur Bearbeitung des AP 3 definiert.
Parallel wurden die Prozessabläufe zur Erfassung und Optimierung von Strahlenanwendungen analysiert und dokumentiert. Die Optimierung der jeweiligen Untersuchungsprotokolle erfolgte in Zusammenarbeit mit den verantwortlichen Ärzten, um die notwendige Bildqualität zu gewährleisten.

4.3 KONTINUIERLICHE ERFASSUNG DER EINHALTUNG VON DRW MITTELS DMS (AP 3)

Die in AP 1 festgelegten Strahlenanwendungen aus der Radiologie, Kardiologie und Nuklearmedizin wurden für die Überprüfung etwaiger Überschreitungen von DRW bzw. von internen Schwellenwerten herangezogen. Die Erfassung von dosisrelevanten Parametern der in AP 1 ausgewählten Strahlenanwendungen über den geplanten Zeitraum von 12 Monaten konnte abgeschlossen werden. Die Analyse der Parameter hinsichtlich der Einhaltung der DRW konnte ebenso durchgeführt werden. Alle hierfür notwendigen Prozessabläufe zur Anwendungen eines DMS wurden dokumentiert und analysiert.

4.4 ERSTELLUNG EINES LEITFADENS FÜR ANWENDER VON DOSISMANAGEMENTSYSTEMEN (AP 4)

Mit den Erkenntnissen aus den Arbeitspaketen 1 bis 3 wurden Informationen und Hinweise zusammengetragen, die Anwendern die Integration und Nutzung eines DMS erleichtern sollen. Dabei wurden Unterschiede zwischen verschiedenen Organisationsstrukturen und Anwenderprofilen berücksichtigt.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUSWAHL DER ZU ERFASSENDEN MEDIZINISCHEN STRAHLENANWENDUNGEN UND VEREINHEITLICHUNG DER UNTERSUCHUNGSNAMEN (AP 1)

Die festgelegten Untersuchungsarten wurden mit den DRW in einer Matrix zusammengetragen und einem RadLex-Begriff zugeordnet. Für einige kardiologische und einzelne interventionelle Verfahren konnte keine Zuordnung stattfinden.

5.2 WIRKUNG VON DOSISMANAGMENTSYSTEMEN AUF DIE OPTIMIERUNG VON DOSISRELEVANTEN PARAMETERWERTEN (AP 2)

Die ermittelten Dosisausgangsgrößen unterschieden sich in den verschiedenen Systemen teils erheblich. Bei manchen DMS geschieht die Klassifizierung einer Anwendungsart ausschließlich über den Protokollnamen, was besonders in der Computertomographie bei Kombiuntersuchungen oder in der Interventionsradiologie zu verfälschten Ergebnissen führt. Eine annähernd eindeutige Zuordnung zu einer Standarduntersuchung kann nur in Kombination mit Zusatzinformationen zur Untersuchung (z. B. die abgerechneten Leistungsdaten) zuverlässig erfolgen.

Es hat sich gezeigt, dass teilweise erst durch die systematische Erfassung und Analyse dosisrelevanter Parameter erhöhte Expositionswerte aufgedeckt werden konnten. Jene Untersuchungsprotokolle wurden zusammen mit den verantwortlichen fachkundigen Radiologen während des Projektzeitraums diskutiert und Maßnahmen zur Optimierung getroffen.

[1)] IT-gestütztes Verfahren zur Erfassung von Untersuchungsparametern

Für das institutsübergreifende Benchmarking wurden die über das DMS erfassten dosisrelevanten Parameter in ein Tabellenkalkulationsprogramm exportiert, den Begriffen des RadLex Playbook zugeordnet und statistische Kennzahlen wie Median, Mittelwert und Standardabweichung ermittelt. Es hat sich eine hohe Varianz bei den einzelnen Untersuchungsarten zwischen den Projektpartnern ergeben.

Trotz der bereits im Einsatz befindlichen Software musste anfänglich sehr viel Zeit zur Konfiguration und Protokollzuordnung im DMS aufgewandt werden. Fehlerträchtige Ansichten, auf Grund nicht eindeutiger Datenlage, erschwerten die Auswertung und verzögerten den Verlauf des Projekts. Insbesondere Daten aus großen Kliniken mit stark differenzierten Fragestellungen und Kombiprotokollen lösten Irritation bezüglich ihrer Plausibilität aus. Die saubere Trennung der relevanten Serien konnte nicht immer erzielt werden. Der administrative Aufwand wurde stark unterschätzt. Personelle Ressourcen für die Analyse der erfassten Daten mittels DMS waren bei keinem Projektteilnehmer in ausreichender Form vorhanden.

5.3 KONTINUIERLICHE ERFASSUNG DER EINHALTUNG VON DRW MITTELS DMS (AP 3)

Die Ergebnisse aus dem AP 3 zeigen, dass bei den meisten analysierten Untersuchungsarten keine Überschreitungen der DRW auftreten. Wenige Überschreitungen des jeweiligen DRW konnten festgestellt werden. Diese konnten im Rahmen des Projekts durch Schulungen und Optimierung des jeweiligen Untersuchungsprogramms behoben werden.
Zu beachten ist, dass bei Auswertungen über einen längeren Zeitraum Interpretationsfehler auf Grund unpassender Bezeichnungen auftraten.

5.4 ERSTELLUNG EINES LEITFADENS FÜR ANWENDER VON DOSISMANAGEMENT-SYSTEMEN (AP 4)

Es wurde ein Leitfaden für Anwender von DMS erstellt. Darin enthalten sind Voraussetzungen und Spezifikationen zur Einbindung in den klinischen Arbeitsablauf sowie zur technischen Integration in die vorhandene IT-Infrastruktur. Dazu werden Anwender durch definierte Anforderungsprofile und Empfehlungen zur Strukturierung nötiger Aufgaben unterstützt. Mit den im Vorhaben gewonnenen Erkenntnissen legt der Leitfaden empfehlenswerte Herangehensweisen bei statistischen Auswertungen zur Dosisüberwachung und zu Optimierungszwecken dar. Es konnten hierfür zweckgebundene Intervalle konkretisiert werden. Die während der Projektphase aufgetretenen Probleme in der Arbeit mit den DMS wurden erläutert. Diese wurde zudem an die Hersteller kommuniziert und teilweise bereits behoben. Unterschiede in der Organisationsstruktur durch die Größe der Organisation (Praxis, Krankenhaus) wurden berücksichtigt. Zudem konnte ein Katalog mit häufig an das Projektteam gestellten Fragen erstellt werden, dessen Antworten den Anwendern als Hilfestellung dienen sollen. Die Ausarbeitung orientiert sich an den zu diesem Zeitpunkt bekannten Empfehlungen von nationalen und internationalen Gremien und Organisationen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Ressortforschungsvorhabens zeigen das Potential von Dosismanagementsystemen für die Optimierung von Röntgenanwendungen mit Bezug auf die Dosis für den Patienten auf. Die aufgezeigten technischen und organisatorischen Schwierigkeiten sind in der laufenden Überarbeitung des untergesetzlichen Regelwerks zu berücksichtigen und können für die Erarbeitung von entsprechenden Mindestanforderungen für Dosismanagementsysteme herangezogen werden.

Die im Forschungsvorhaben erfassten dosisrelevanten Parameter werden bei der Aktualisierung der diagnostischen Referenzwerte berücksichtigt.

Der im Rahmen des Vorhabens erarbeitete Leitfaden für die Anwender soll zeitnah allen Praxen, Krankenhäusern und Universitätskliniken bereitgestellt werden um die Einführung von Dosismanagementsystemen zu vereinfachen und gezielt Hürden für die Einführung im Vorfeld zu vermeiden.

Thema			
Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen radioaktiver Stoffe in der Nuklearmedizin und praktische Erprobung der Meldekriterien			
Subject			
Operational handling of (significant) incidents in medical applications of radioactive material in nuclear medicine and practical testing of reporting criteria			
Kennzeichen 3617S42332	**Beginn** 01.01.2018	**Ende** 31.12.2019	**Fördermittel** EUR 190.439,-
Forschungs- / Auftragnehmer Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH			
Projektleitung Dr. M. Borowski	**Fachbetreuung BfS** Dr. A. Kamp / MB 3	**verantwortlich für den Text** Dr. M. Borowski	

1. ZIELSETZUNG

Die Richtlinie 2013/59/EURATOM sieht in Artikel 63 vor, dass „Unternehmen die zuständige Behörde so bald wie möglich über das Eintreten bedeutsamer Ereignisse …“ unterrichten. Im Deutschen Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 wurde diese Forderung in § 90 aufgenommen. Innerhalb der Strahlenschutzverordnung sind in Anlage 14 Meldekriterien für Vorkommnisse spezifiziert. Das Ziel ddieses Vorhabens war die systematische Erfassung und Bewertung von (bedeutsamen) Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen bei der Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen in der Medizin unter Berücksichtigung der vereinbarten Meldekriterien. Es ist hierdurch beabsichtigt, die Anwendbarkeit der Meldekriterien in der Praxis zu prüfen sowie Möglichkeiten der praktischen Implementierung einer Erfassung von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen zu erarbeiten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Leistungsbeschreibung zum Vorhaben sah es vor, die Thematik im Rahmen von drei Einzelzielsetzungen zu bearbeiten.

2.1 AUFARBEITUNG DES STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Erfahrungen, die Institutionen im In- und Ausland mit gängigen Systemen zur Erfassung, Auswertung und Weitergabe von Vorkommnissen gemacht haben, waren ebenso wie Vorzüge und Limitationen von Verfahren aufzuarbeiten. Auf Empfehlungen nationaler und internationaler Institutionen bezüglich der Erfassung und Bewertung von Vorkommnissen war einzugehen.

Auf Grundlage der Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik waren Verfahrenskonzepte für die Erfassung und Bewertung von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen zu erarbeiten und auf Praxistauglichkeit zu prüfen.

2.2 ERFASSUNG VON VORKOMMNISSEN IM KLINISCHEN ALLTAG

In mindestens 10 verschiedenen nuklearmedizinischen Einrichtungen (davon 5 Praxen) unterschiedlicher Größe waren mindestens über 12 Monate fortlaufend Vorkommnisse und Beinahe-Vorkommnisse zu erfassen und zu bewerten. Dabei waren alle Teilschritte der therapeutischen und diagnostischen Anwendung radioaktiver Stoffe einzubeziehen. Die Einhaltung der ärztlichen Schweigepflicht war dabei sicherzustellen.

2.3 ERSTELLUNG EINES LEITFADENS

Die gesammelten Kenntnisse und Erfahrungen waren in einem Leitfaden zusammenzufassen. Dieser Leitfaden hatte Vorschläge zu unterbreiten, wie ein sachgerechtes und möglichst praxistaugliches System zur Erfassung und Bewertung von (Beinahe-)Vorkommnissen in Einrichtungen unterschiedlicher Größe und Spezialisierung eingerichtet und betrieben werden kann.

Der Leitfaden hatte auch vorzuschlagen, welche konkreten Informationen Meldungen über Vorkommnisse enthalten sollten.

3. METHODIK

Zur Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik wurden nationale und internationale Literaturquellen sowie Webpräsenzen hinsichtlich Beiträgen zu bedeutsamen Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen gesichtet. Weiterhin wurde mit Einrichtungen im In- und Ausland Kontakt aufgenommen, um die dortige Erfassung und ggf. Meldung von bedeutsamen Vorkommnissen zu ermitteln.

Für die Erfassung von Vorkommnissen sowie deren Übermittlung an die zuständigen Behörden wurde eine Dokumentationssoftware unter Berücksichtigung der Resultate der Arbeiten nach 4.1 sowie der Anmerkungen der mitwirkenden Einrichtungen erstellt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Zur Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik wurden nationale und internationale Literaturquellen sowie Webpräsenzen hinsichtlich Beiträgen zu bedeutsamen Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen gesichtet. Weiterhin wurde mit Einrichtungen im In – und Ausland Kontakt aufgenommen, um die dortige Erfassung und ggf. Meldung von bedeutsamen Vorkommnissen zu ermitteln.

Die Ergebnisse zum Teilprojekt wurden in einem Bericht zusammengefasst und dem Bundesamt für Strahlenschutz zur Verfügung gestellt.

Vor dem Hintergrund der gewonnenen Erkenntnisse wurde eine Liste von sinnvollen Meldekriterien entwickelt. Zudem wurden Funktionen einer Software konzipiert, die der Erfassung von Meldungen dienen kann.

4.2 ERFASSUNG VON VORKOMMNISSEN IM KLINISCHEN ALLTAG

Es wurden Vereinbarungen mit 6 Kliniken, darunter zwei Universitätskliniken, sowie 6 Praxen über die Mitwirkung in der Anwendungsstudie getroffen. Mit den Einrichtungen wurde die Zielstellung der Anwendungsstudie besprochen. Ideen der Einrichtungen zu Meldekriterien sowie im Hinblick auf eine ergonomische Erfassung von Vorkommnissen wurden kritisch diskutiert und bei den weiteren Arbeiten berücksichtigt.

Für die Erfassung von Vorkommnissen sowie deren Übermittlung an die zuständigen Behörden wurde eine Dokumentationssoftware unter Berücksichtigung der Resultate der Arbeiten nach 4.1 sowie der Anmerkungen der mitwirkenden Einrichtungen erstellt. Die Software sieht im Vergleich zu den Meldekriterien des Strahlenschutzrechts niedrigere Schwellen vor. Dadurch soll erreicht werden, dass ein Überblick über Vorkommnisse im Allgemeinen erhalten wird, auch wenn diese nicht unmittelbar eine Meldepflicht nach Strahlenschutzverordnung zur Folge hätten.

In den Einrichtungen wurde die Software bereitgestellt und in das lokale IT-System integriert. Probleme bei der Implementierung wurden im Einklang mit den Einrichtungen bearbeitet. Leider zeigte sich in einem Fall, dass die Integration nicht realisierbar war. In dieser Einrichtung erfolgt die Datenerfassung hierdurch ausschließlich papierbasiert.

Die vor Ort tätigen Personen wurden in der Nutzung der Software unterwiesen. Zudem wurde ihnen der Themenbereich der Erfassung von Vorkommnissen und die Funktion der Anwendungsstudie erläutert. Rückfragen der Einrichtungen wurden kontinuierlich beantwortet.

Die Daten in den Einrichtungen dokumentierter Vorkommnisse wurden im Rahmen von zwei Zwischenauswertungen sowie einer Endauswertung analysiert. In jedem Fall wurde ein Kurzbericht zu den beobachteten Meldungen erstellt, den mitwirkenden Einrichtungen zur Verfügung gestellt und auf Rückfragen eingegangen. Zum Abschluss der Anwendungsstudie wurden Aspekte zum Nutzungsverhalten sowie Einschätzungen der Einrichtungen zu Vorkommnissen im Allgemeinen durch einen strukturierten Fragebogen erfasst.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DER STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Es zeigte sich, dass bislang kein allgemein etabliertes System zur Erfassung von Vorkommnissen außerhalb Deutschlands besteht. In Irland wurde lokal ein derartiges System 2013 eingerichtet. Die dort zur Anwendung kommenden Kriterien sind einfacher als die im deutschen Strahlenschutzrecht konkretisierten. In den interna-

tional verfügbaren Arbeiten sowie Modellprojekten zur Etablierung von Meldekriterien wurden folgende Notwendigkeiten für ein funktionierendes System benannt:

- Niederschwelligkeit
- Anonymität
- Möglichkeit, über eine Dokumentation hinaus, für Training und Optimierungen eingesetzt werden zu können.

5.2 ERFASSUNG VON VORKOMMNISSEN IM KLINISCHEN ALLTAG

Innerhalb der Anwendungsstudie wurden insgesamt 66 Vorkommnisse und Beinahe-Vorkommnisse erfasst, s. Abbildung 1.

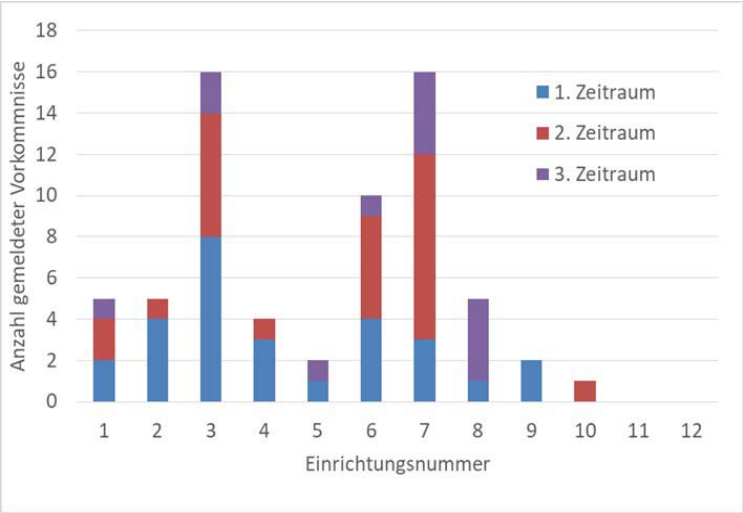


Abbildung 1: Anzahl der in den unterschiedlichen klinischen Einrichtungen erfassten Vorkommnisse. Die Zeiträume bezeichnen die Intervalle zwischen dem Projektstart und der ersten und zweiten Zwischenauswertung sowie zur Abschlussauswertung.

Es ist zu erkennen, dass in den teilnehmenden Einrichtungen in deutlich unterschiedlichem Umfang Vorkommnisse erfasst wurden. Die Häufigkeit korreliert dabei nicht mit dem Typ oder der Größe der Einrichtung. Es ist auf Grund der Art erfasster Vorkommnisse vielmehr naheliegend, dass unterschiedliche Einrichtungen in unterschiedlichem Umfang sensibel für Arten von Vorkommnissen waren. In drei Fällen wurden meldepflichtige, bedeutsame Vorkommnisse festgestellt. Diese traten alle im Zusammenhang mit Radioiodtherapien auf. In zwei Fällen handelte es sich um Beinahe-Vorkommnisse, in einem Fall wurde eine um mehr als 10 % zu geringe Aktivität verabreicht.

Nicht in allen Fällen war es möglich die mit einem (Beinahe-)Vorkommnis verbundene Strahlexposition des Patienten abzuschätzen. In den Fällen, in denen dieses möglich war – 46 (Beinahe-)Vorkommnisse – lag die höchste Dosis bei etwa 9 mSv.

Die Ursachenanalyse ergab, dass der Hauptteil beobachteter Vorkommnisse auf para-Injektionen zurückzuführen ist und somit in der Einflusssphäre des Arztes liegt. Weitere häufige Ursachen für Vorkommnisse sind Patientenverwechslungen, die sowohl auf Arzt- als auch Assistenzseite liegen können. Neben diesen erwarteten Ursachen für Vorkommnisse wurden mit geringer Häufigkeit weitere beobachtet, die insbesondere beachtet wurden und damit zu einer Verbesserung des Qualitätsstandards führen konnten. Zu nennen sind hier unter anderem Applikationen falscher Radiopharmaka oder Mängel durch unzureichende Abstimmung mit weiteren klinischen Bereichen.

Es zeigte sich innerhalb des Vorhabens, dass es von externer Seite kaum möglich ist, zu prüfen, ob Vorkommnisse sowie bedeutsame Vorkommnisse in Einrichtungen rechtskonform behandelt werden. Innerhalb der Befragung zum Ende der Anwendungsstudie wurde daher nach einer Selbsteinschätzung der Einrichtungen dazu gebeten, als wie vollständig sie die erfolgten Eintragungen ansehen. Etwa 70 % der Einrichtungen gaben dabei an, mehr als 75 % der Vorkommnisse gemeldet zu haben. Der Rest geht von einer Meldequote zwischen 50 % und 75 % aus. Als Grund für von 100 % abweichende Meldetreue wurden strukturelle Mängel in der Einrichtung, eine Angst der Meldenden vor Reputationsverlust sowie die Aufgabenfülle eines schnelllebigen Alltags angegeben.

Eine kritische Auseinandersetzung mit möglichen Vorkommnisarten sowie den Möglichkeiten zu deren externer Prüfung zeigte, wie bereits erwähnt, dass diese vielfach kaum suffizient möglich ist. Hauptursachen hierfür sind Datenschutzbelange sowie Dokumentationsstrukturen innerhalb der Nuklearmedizin, welche ein Nachvollziehen des Auftretens von Vorkommnissen mit einem sehr hohen zeitlichen Aufwand verbinden. Nachdem bedeutsame Vorkommnisse nur selten auftreten, lässt sich auch kein Zeitraum angeben, in welchem Daten gesichtet werden müssten, um ein rechtskonformes Verhalten zu bescheinigen.

In Anlage 14 und 15 der StrlSchV finden sich Kriterien, um ein bedeutsames Vorkommnis auszumachen. Diese Kriterien wurden im Rahmen des Vorhabens vor dem Hintergrund der internationalen Literatur sowie der Anwendungsstudie kritisch reflektiert. Es zeigte sich, dass die aktuell vorgesehenen Kriterien in etlichen Fällen für die Anwendung in der Nuklearmedizin ungeeignet sind. Dieses resultiert z. B. daraus, dass Meldeschwellen bereits nach Ausschöpfung zulässiger Toleranzen erreicht werden oder aus der Tatsache, dass erforderliche Messungen zur Prüfung der Überschreitung einer Meldeschwelle in nuklearmedizinischen Einrichtungen im Regelfall nicht durchführbar sind. Es erscheint sinnvoll, an den im Abschlussbericht zum Vorhaben benannten Kriterien Änderungen in der StrlSchV vorzunehmen.

Ergebnisse zu der praktischen Realisierung des Umgangs mit Vorkommnissen wurden in dem bereits benannten Leitfaden aufbereitet. Der Ausgangspunkt ist der im Risikomanagement gepflegte zirkuläre Ablauf zum Umgang mit Risiken, der auf den konkreten Anwendungsfall angepasst wurde, s. Abbildung 2.

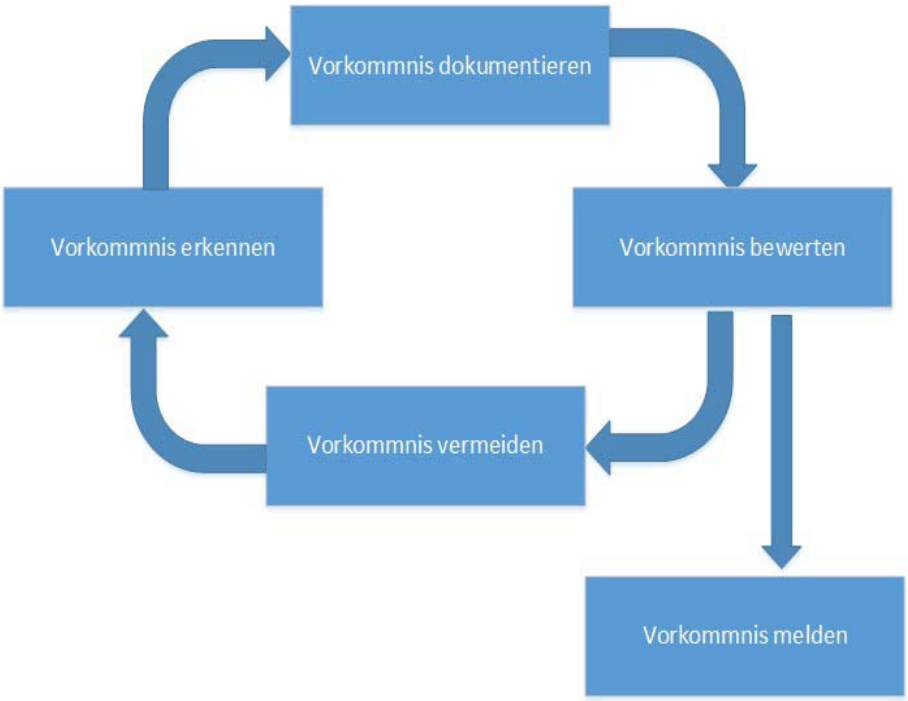


Abbildung 2: Schematischer Ablauf einer Auseinandersetzung mit Vorkommnissen im Sinne des Risikomanagements

Für Einrichtungen unterschiedlicher Größe

- Einzelpraxen
- Großpraxen oder kleinere Krankenhäuser
- Großkrankenhäuser

wurden Ablaufschemata für den Umgang mit Vorkommnissen erarbeitet (Beispiel siehe Abb. 3).

Unterstützt wird der Prozess der Dokumentation und Aufarbeitung von Vorkommnissen durch eine innerhalb des Projektes entwickelte Software. Die Software ist so gestaltet, dass Eingaben möglichst niederschwellig möglich sind. Abbildung 4 zeigt hierzu die erste Eingabemaske zur Erfassung eines Vorkommnisses.

Die Software wird in Abstimmung mit dem Bundesamt für Strahlenschutz nach dem Ende des Vorhabens der Allgemeinheit zugänglich gemacht. Hiermit soll über den Leitfaden hinaus bundesweit Einrichtungen ermöglicht werden, von den Ergebnissen des Vorhabens zu profitieren.

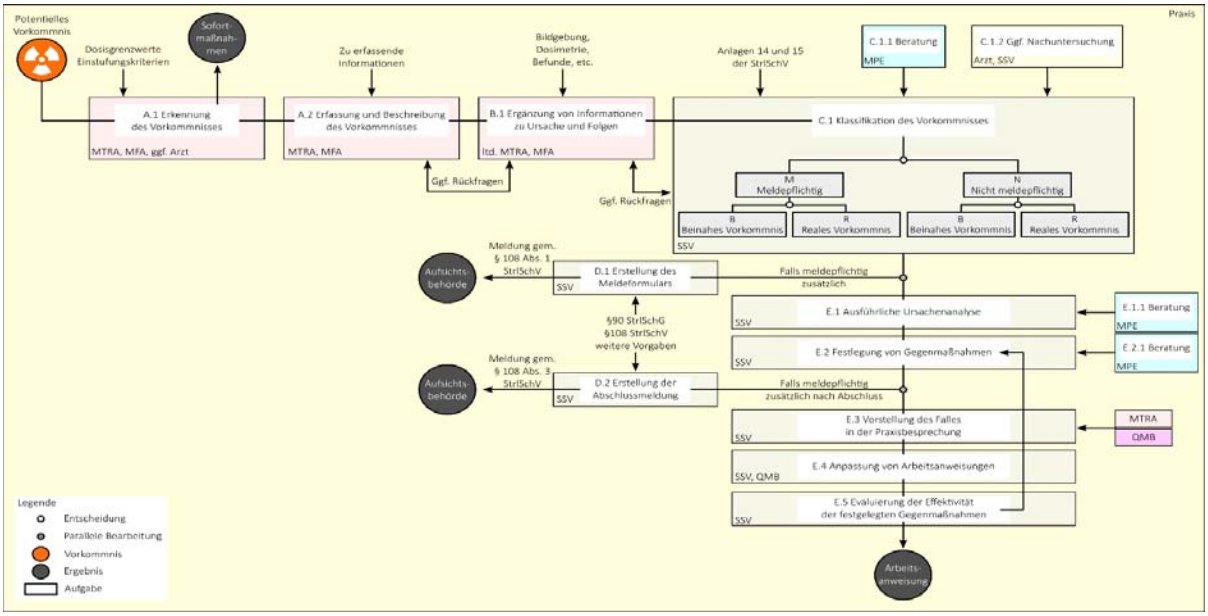


Abbildung 3: Beispielhafter Prozess zur Erfassung, Bewertung und ggf. Meldung eines Vorkommnisses im Kontext einer kleineren Praxis ohne Dosismanagementsystem, bei der der Inhaber gleichermaßen als fachkundiger (Zahn-)Arzt und Strahlenschutzverantwortlicher auftritt

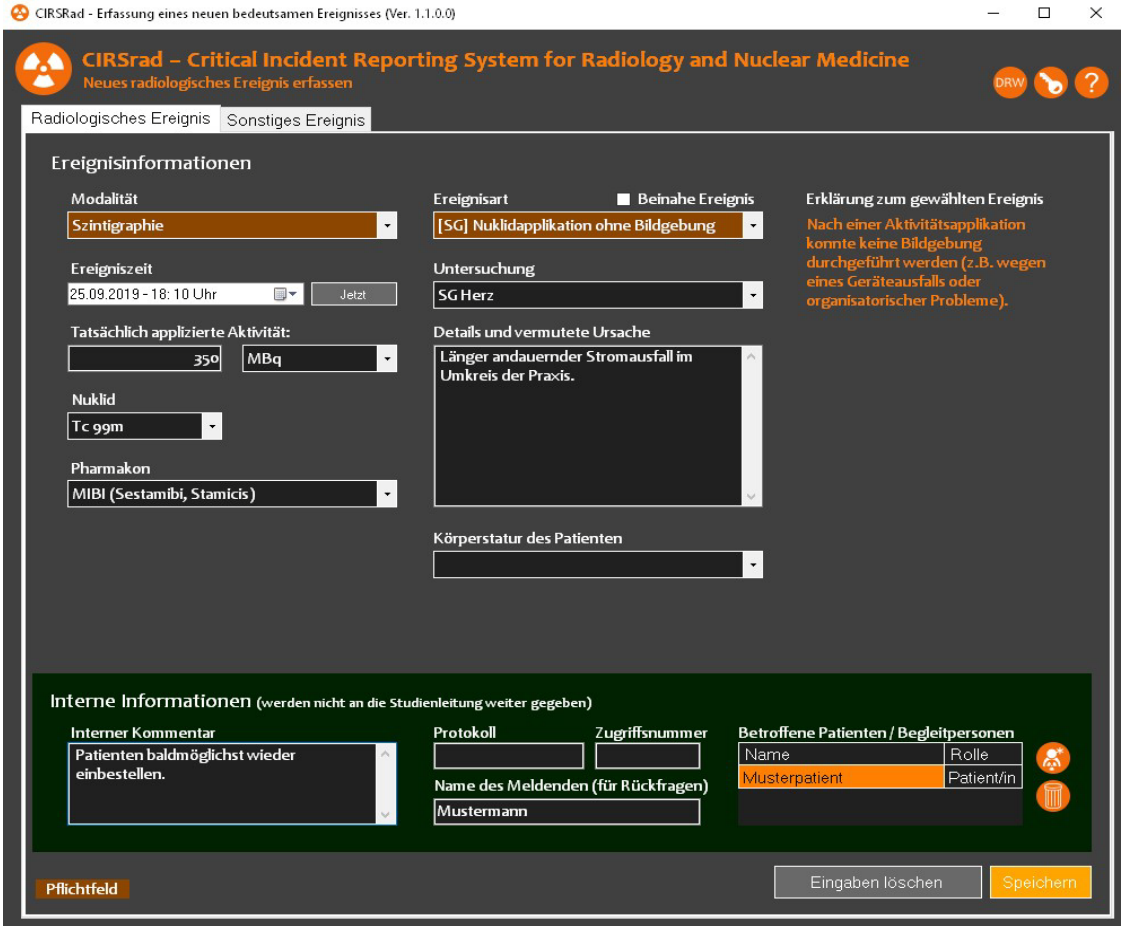


Abbildung 4: Oberfläche zur Erfassung von Vorkommnissen mit exemplarischen Eingaben. Personen und das Vorkommnis sind frei erfunden

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Obwohl die Kriterien, die in diesem Vorhaben als ausschlaggebend für die Bedeutsamkeit eines Vorkommnisses berücksichtigt worden sind, sich von den in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Kriterien unterscheiden, können die hier gewonnenen Ergebnisse sowohl für die Identifizierung und Klassifizierung von Vorkommnissen als auch für ihre statistische Auswertung umgesetzt werden. Die im Rahmen des Forschungsvorhabens verwendeten Meldekriterien für eine Dosisüberschreitung wurden bis auf wenige Ausnahmen niedriger als die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Werte gewählt. Dies erlaubt eine nachträgliche Interpretation der Ergebnisse unter Berücksichtigung der Kriterien aus der Strahlenschutzverordnung. Zudem liefert das Forschungsvorhaben auf Grund des erweiterten Kriterienkatalogs Einblicke in häufig auftretende Vorkommnisse, die im Bezug auf zukünftige Regelungen zur Qualitätssicherung berücksichtigt werden können.

Der Leitfaden zum Umgang mit Vorkommnissen, die Ablaufschemata und die entwickelte Software zur Dokumentation und Aufarbeitung von Vorkommnissen sind wichtige Ergebnisse dieses Vorhabens, die Einrichtungen unterschiedlicher Größe und Komplexität zur Verfügung gestellt werden und eine Harmonisierung der Prozessabläufe ermöglicht.

Thema			
Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen ionisierender Strahlung in der Röntgendiagnostik und interventionellen Radiologie und praktische Erprobung der Meldekriterien			
Subject			
Operational handling of (significant) incidents in medical applications of ionising radiation in diagnostic radiology and interventional radiology as well as practical experience of the reporting criteria			
Kennzeichen 3617S42333	**Beginn** 01.01.2018	**Ende** 31.12.2019	**Fördermittel** EUR 309.512,-
Forschungs- / Auftragnehmer Klinikum Nürnberg, Institut für Medizinische Physik			
Projektleitung Dr. M. Wucherer (bis 28.02.2019), Dr. E. Rerich (01.03.- 31.05.2019), Dr. J. Hartmann (seit 01.06.2019)	**Fachbetreuung BfS** S. Trinkl / MB 3	**verantwortlich für den Text** Dr. B. Müller, Dr. E. Rerich, J. Singer	

1. ZIELSETZUNG

Die Richtlinie 2013/59/EURATOM sieht in Artikel 63 vor, dass „das Unternehmen die zuständige Behörde so bald wie möglich über das Eintreten bedeutsamer Ereignisse … unterrichtet“. Im Deutschen Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 wurde diese Forderung in § 90 aufgenommen. Innerhalb der Strahlenschutzverordnung sind in Anlage 14 und 15 Kriterien für die Bedeutsamkeit eines Vorkommnisses spezifiziert. Ziel dieses Vorhabens war die systematische Erfassung und Bewertung von (bedeutsamen) Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen ionisierender Strahlung in der Röntgendiagnostik (einschließlich Zahnheilkunde) und der interventionellen Radiologie unter Berücksichtigung der vereinbarten Meldekriterien. Es war hierdurch beabsichtigt, die Anwendbarkeit der Meldekriterien im klinischen Betrieb zu prüfen sowie Möglichkeiten der praktischen Implementierung einer Erfassung von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen zu erarbeiten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Leistungsbeschreibung zum Vorhaben sah es vor, die Thematik im Rahmen von drei Arbeitspaketen (AP) zu bearbeiten.

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

Die Erfahrungen, die Institutionen im In- und Ausland mit gängigen Systemen zur Erfassung, Auswertung und Weitergabe von Vorkommnissen erlangen konnten, waren zu ermitteln. Des Weiteren galt es Vorzüge und Limitationen von Verfahren zu untersuchen. Empfehlungen nationaler und internationaler Institutionen bezüglich der Erfassung und Bewertung von Vorkommnissen sollten berücksichtigt werden.

Auf Grundlage der Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik sollten Verfahrenskonzepte für die Erfassung und Bewertung von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen erarbeitet und auf Praxistauglichkeit geprüft werden.

2.2 ERFASSUNG VON VORKOMMNISSEN IM KLINISCHEN ALLTAG (AP 2)

Für die Projektteilnahme sollten Einrichtungen unterschiedlicher Größe, darunter Universitätskliniken, nicht-akademische Krankenhäuser und Praxen aus den Fachbereichen Radiologie, Kardiologie und Zahnmedizin rekrutiert werden. Zur Erfassung von Vorkommnissen galt es eine Software zu entwickeln, die an allen teilnehmenden Einrichtungen einheitliche Dokumentationen sammeln sollte. Erfasste Meldungen sollten in Abschnitten analysiert werden. Abschließend war eine Bewertung der erprobten Meldekriterien zu vollziehen.

2.3 ERSTELLUNG EINES LEITFADENS (AP 3)

Die gesammelten Kenntnisse und Erfahrungen sollten in einem Leitfaden zusammengefasst werden. Der Leitfaden wurde mit dem Ziel geschrieben, Einrichtungen Vorschläge zu unterbreiten, wie ein sachgerechtes

und möglichst praxistaugliches System zur Erfassung und Bewertung von (Beinahe-)Vorkommnissen in Einrichtungen unterschiedlicher Größe und Spezialisierung eingerichtet und betrieben werden könnte.

3. METHODIK

3.1 MELDEKRITERIEN

Basierend auf der Literaturstudie aus AP 1 sowie einem vom Bundesamt für Strahlenschutz bereitgestellten Kriterienkatalog, welcher die für die Erfassung in Deutschland zu diesem Zeitpunkt vorgesehenen Parameter enthielt, wurde vom Projektteam ein Parametersatz an Interventions- und Meldeschwellen ausgearbeitet. Es war angedacht die Interventionsschwellen niedriger als die gesetzlichen Meldeschwellen anzusetzen, um die Anzahl an Meldungen zu erhöhen und damit mehr Erkenntnisse zu sammeln.

3.2 SOFTWARE CIRSRAD

Zur strukturierten einheitlichen Erfassung wurde ein Softwaretool entwickelt, welches ausnahmslos allen teilnehmenden Einrichtung zur Verfügung gestellt wurde. Die intuitive Oberfläche von „CIRSrad“ (CIRS: Critical Incident Reporting System) ermöglicht eine hürdenlose Eingabe eines Vorkommnisses über Drop-down-Listen zur Modalität und darauf basierend möglicher Ereignisarten, wie Patientenverwechselung, erhöhte Dosis, etc.. Über einen separaten Reiter können ergänzend zur Erfassung von Vorkommnissen auch nicht-strahlenschutzrelevante Ereignisse dokumentiert werden. Um das Qualitätsniveau der Einrichtung zu verbessern und gezielt einer Wiederholung der verursachten Vorkommnisse entgegen zu wirken, kann der Nutzer Details und Ursachen zum Ereignis formulieren. Des Weiteren werden patientenrelevante Daten und solche, die zur Weiterverfolgung nötig sind, abgefragt. Mit erweiterten Nutzungsrechten können erfasste Meldungen ergänzt und mit dem jeweiligen Bearbeitungsstatus versehen werden. Zur Auswertung freigegebene Meldungen werden als anonymisierte Textdatei an die Studienleitung übermittelt. Die Software wurde während des Erfassungszeitraumes in Bezug auf gewonnene Teilergebnisse angepasst und optimiert.

3.3 AUSWERTUNG ERFASSTER VORKOMMNISSE

Nach Aufzeichnungszeiträumen von vier, acht und zwölf Monaten, über den Gesamtzeitraum von Juli 2018 bis August 2019, wurden die von den Einrichtungen erfassten Daten von der Studienleitung abgefragt und über ein eigens erstelltes Software-Tool (auf Basis eines Tabellenkalkulationsprogramms) aufbereitet. Vorkommnisse wurden nach Einrichtungen, Modalitäten, Ereignisart und Ursache analysiert. Dabei wurden die im Freitext eingegebenen Ursachen unter Kategorien vergleichbaren Hintergrunds zusammengefasst.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Zur Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik wurden nationale und internationale Literaturquellen sowie Webpräsenzen hinsichtlich Beiträgen zu bedeutsamen Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen recherchiert. Weiterhin wurde mit Einrichtungen im In- und Ausland Kontakt aufgenommen, um die dortige Erfassung und ggf. Meldung von bedeutsamen Vorkommnissen zu ermitteln. Die Ergebnisse zum Teilprojekt wurden in einem Bericht zusammengefasst und dem Bundesamt für Strahlenschutz zur Verfügung gestellt.

Vor dem Hintergrund der gewonnenen Erkenntnisse wurde eine Liste von sinnvollen Meldekriterien entwickelt. Zudem wurden Funktionen der Meldesoftware konzipiert.

4.2 ERFASSUNG VON VORKOMMNISSEN IM KLINISCHEN ALLTAG (AP 2)

Die Meldekriterien und die Software wurden den Anwendern im Rahmen einer Schulung vorgestellt. Lokal konnten verantwortliche Personen, die Zugriff auf die gemeldeten Ereignisse zur weiteren Bearbeitung hatten, festgelegt werden. In Zusammenarbeit wurde die Software auf die Anforderungen der einzelnen Arbeitsplätze konfiguriert. Der privilegierte Benutzer vor Ort bearbeitete die gemeldeten Ereignisse in einem vereinbarten Zeitintervall und gab diese für die Studie frei. Die Projektleitung trug die Informationen zusammen und wertete diese nach Einrichtungen, Modalitäten, Ereignisart und Ursache aus. Über den gesamten Erfassungszeitraum wurden die teilnehmenden Einrichtungen von den verantwortlichen Projektpartnern bei der Erhebung der Daten unterstützt. Jeweils nach dem 4. und 8. Monat erfolgte eine Zwischenauswertung. Die Zwischen-

und Endauswertungen wurden allen Teilnehmern zur Verfügung gestellt. Die Software konnte während des Erfassungszeitraumes in Bezug auf gewonnene Teilergebnisse angepasst und optimiert werden. Abschließend wurde eine freiwillige, anonyme Online-Befragung unter allen teilnehmenden Institutionen durchgeführt, über die Rückmeldungen zur Einschätzung der Umsetzbarkeit von Meldungen mit CIRSrad, dem Aufwand der Erfassung und den eingeführten Interventionsschwellen abgefragt wurden.

4.3 ERSTELLUNG EINES LEITFADENS (AP 3)

Mit den Erkenntnissen – gewonnen aus den vorangegangenen Arbeitspaketen - wurden Informationen und Hinweise zusammengetragen, die Anwendern Hilfestellung bei der Untersuchung, Klassifikation und Dokumentation von Vorkommnissen bieten sollen. Dabei wurden Unterschiede zwischen verschiedenen Organisationstrukturen berücksichtigt. Der Leitfaden wurde gemeinsam mit dem Forschungsvorhaben „Betrieblicher Umgang mit bedeutsamen Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen radioaktiver Stoffe in der Nuklearmedizin“ (Kennzeichen: 3617S42332), unter der Leitung des Klinikums Braunschweig, erstellt.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Es zeigte sich, dass bislang kein allgemein etabliertes System zur Erfassung von Vorkommnissen außerhalb Deutschlands besteht. In Irland wurde lokal ein derartiges System im Jahr 2013 eingerichtet. Die dort zur Anwendung kommenden Kriterien sind einfacher als die im deutschen Strahlenschutzrecht konkretisierten. In den international verfügbaren Arbeiten sowie Modellprojekten zur Etablierung von Meldekriterien wurden folgende Notwendigkeiten für ein funktionierendes System benannt:

- niederschwellige Detektion
- Anonymität der meldenden Personen
- Möglichkeit zur Aufarbeitung der Dokumentation.

Da das Startdatum des Vorhabens vor der Verabschiedung der gesetzlichen Forderungen lag, decken sich die ausgearbeiteten Kriterien nicht immer mit der StrlSchV.

5.2 ERFASSUNG VON VORKOMMNISSEN IM KLINISCHEN ALLTAG (AP 2)

Die entwickelte Software „CIRSrad“ bildet den gesamten Prozess einer standardisierten Erfassung von Vorkommnissen, inklusive des Berichtswesens bedeutsamer Vorkommnisse, ab. Es beteiligten sich 16 Einrichtungen an der Anwendungsstudie, darunter fünf Universitätskliniken, fünf nicht-akademische Krankenhäuser, vier Praxen (drei Radiologien, eine Kardiologie) und zwei Zahnarztpraxen. Die Zielsetzungen wurden jeweils in einem Vorort-Termin bei den angefragten Einrichtungen erläutert. Die im jeweiligen Bereich tätigen Mitarbeiter begegneten dem Vorhaben gegenüber zunächst skeptisch. Die Zusicherung einer anonymisierten Datenfreigabe und die Aussicht an der Mitgestaltung eines zukünftig einheitlichen Meldesystems sowie die Bereitstellung einer raschen Struktur zur Umsetzung der Pflichten des neuen Strahlenschutzrechts motivierte zur Teilnahme. Über den Aufzeichnungszeitraum wurden 586 Ereignisse, davon 581 Vorkommnisse und 5 Beinahe-Ereignisse, registriert. Dabei unterschieden sich die Einrichtungen deutlich in der Anzahl der eingereichten Vorkommnisse. Meldungen aus dem Bereich der Projektionsradiographie stellten die häufigsten Vorkommnisse (272 Meldungen), gefolgt von der Computertomographie (CT) (147) und der therapeutischen Intervention (104) dar. Nach Ereignisart unterschieden bildeten Wiederholungsaufnahmen in der Projektionsradiographie (224) die größte Gruppe an Vorkommnismeldungen. Erhöhte Dosisexpositionen bei therapeutischen Interventionen (99) und wiederholte CT-Untersuchungen (59) folgten. Die erfassten Ursachen zu den gemeldeten Vorkommnissen konnten zu 19 % auf die Einstelltechnik, zu 18 % auf Bewegung oder Unkooperativität des Patienten und zu 14 % auf eine komplexe Behandlungsart zurückgeführt werden. Bei 20 % der Meldungen wurde keine Ursache erfasst. Die individuelle Anzahl gemeldeter Ereignisse konnte nicht mit der Größe der jeweiligen Einrichtungen oder Anzahl der durchgeführten Untersuchungen in Zusammenhang gebracht werden. Insgesamt lässt sich eine Abnahme der Meldungen über den Aufzeichnungszeitraum beobachten. Das zwischenzeitliche Inkrafttreten der StrlSchV könnte bei den Teilnehmern zu Missverständnissen zwischen Projekt und gesetzlichen Vorgaben geführt haben. Die deutliche Abnahme der Meldungen könnte ebenso auf eine erfolgreiche Aufarbeitung aus vorangegangenen Meldungen zurückzuführen sein. Mit der Auseinandersetzung der Meldekriterien sowie in Gesprächen mit verschiedenem Personal der Einrichtungen wurde deutlich, dass die derzeit festgelegten gesetzlichen Schwellen an manchen Stellen Schwierigkeiten bereiteten. Der Projektleitung ist die gesetzliche Meldung bei der Behörde von vier Ereignissen über den Ge-

samtzeitraum aller teilnehmenden Einrichtungen bekannt. In der freiwilligen, anonymen Online-Umfrage wurde der Aufwand für die Erfassung von Vorkommnissen mit CIRSrad als angemessen bewertet. Der erfasste Anteil aller aufgetretenen „Vorkommnisse“ in CIRSrad wurde von 33 % der Umfrageteilnehmer auf zwischen 100 % und 76 % und weiteren 33 % auf zwischen 75 % und 51 % geschätzt. Je 17 % der Umfrageteilnehmer gingen von einer Erfassungsquote von zwischen 0 % und 25 % und zwischen 26 % und 50 % aus. Als Gründe für die gegebenenfalls nicht erfolgte Erfassung von Meldeschwellenüberschreitungen wurden unter anderem „Bedenken vor Konsequenzen“ und „Zeitmangel“ bzw. der „zusätzliche Arbeitsaufwand“ genannt. Nach Beendigung des Erfassungszeitraumes wurde die Software in Hinblick auf die geltende Strahlenschutzgesetzgebung angepasst und wird als frei erhältliche Version per Download zur Verfügung gestellt.

5.3 ERSTELLUNG EINES LEITFADENS (AP 3)

Bezogen auf den klinischen Arbeitsablauf wurden Empfehlungen im Umgang mit strahlenschutzrelevanten Vorkommnissen in Form eines Leitfadens zusammengefasst. Darunter sind Angaben zu personellen und strukturellen Voraussetzungen zu finden. Um die Erfassung von Vorkommnissen in Hinblick auf die weitere Aufarbeitung zu optimieren, wird ein klar strukturiertes Softwaretool empfohlen. Die gesetzlichen Meldekriterien, herausgegeben vom Bundesamt für Strahlenschutz, wurden kritisch hinterfragt. Zur umfassenden Detektion potentiell meldepflichtiger Vorkommnisse sind niederschwellige Interventionsschwellen anzusetzen. Es wurden Strategien zur Erkennung von Vorkommnissen aufgeführt. Der gesamte Prozess, von der Erkennung eines Vorkommnisses bis hin zur Meldung an die Aufsichtsbehörde, wurde unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Organisationsstrukturen dargestellt. Abschließend wurden kritische Aspekte, die sich im Laufe der Projektzeit gezeigt haben, diskutiert. Die Ausarbeitung orientierte sich an den zu diesem Zeitpunkt bekannten Empfehlungen von nationalen und internationalen Gremien und Organisationen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Obwohl die Kriterien, die in diesem Vorhaben als ausschlaggebend für die Bedeutsamkeit eines Vorkommnisses berücksichtigt worden sind, sich von den in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Kriterien unterscheiden, können die hier gewonnenen Ergebnisse sowohl für die Identifizierung und Klassifizierung von Vorkommnissen als auch für ihre statistische Auswertung umgesetzt werden. Die im Rahmen des Forschungsvorhabens verwendeten Meldekriterien für eine Dosisüberschreitung wurden bis auf wenige Ausnahmen niedriger als die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Werte gewählt. Dies erlaubt eine nachträgliche Interpretation der Ergebnisse unter Berücksichtigung der Kriterien aus der Strahlenschutzverordnung. Zudem liefert das Forschungsvorhaben auf Grund des erweiterten Kriterienkatalogs Einblicke in häufig auftretende Vorkommnisse, die im Bezug auf zukünftige Regelungen zur Qualitätssicherung berücksichtigt werden können.

Der Leitfaden zum Umgang mit Vorkommnissen, die Ablaufschemata und die entwickelte Software zur Dokumentation und Aufarbeitung von Vorkommnissen sind wichtige Ergebnisse dieses Vorhabens, die Einrichtungen unterschiedlicher Größe und Komplexität zur Verfügung gestellt werden und eine Harmonisierung der Prozessabläufe ermöglichen.

Thema Erfassung der Häufigkeiten und Expositionsparameter in der pädiatrischen Radiologie			
Subject *Collecting relative frequencies and assessing radiation doses of pediatric radiology procedures involving ionising radiation*			
Kennzeichen 3617S42441	**Beginn** 01.09.2017	**Ende** 31.08.2019	**Fördermittel** EUR 197.379,-
Forschungs- / Auftragnehmer Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI), Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz			
Projektleitung Dr. D. Wollschläger	**Fachbetreuung BfS** Dr. A. Giussani / MB 3	**verantwortlich für den Text** Dr. R. Pokora, Dr. D. Wollschläger, Dr. G. Stamm, A. Jahnen, Prof. Dr. G. Staatz, Prof. Dr. P. Mildenberger	

1. ZIELSETZUNG

Es sollten repräsentativ für Deutschland aktuelle Daten über die relative Häufigkeit einzelner Röntgenanwendungen und radiologischer Interventionen an Kindern im ambulanten wie stationären Bereich sowie Maschinenparameter mit Relevanz für die Strahlenexposition bei diesen Anwendungen ermittelt werden. Die Ergebnisse sollten in die zukünftige Festsetzung von Diagnostischen Referenzwerten (DRW) im Bereich kinderradiologischer Untersuchungen einfließen.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

- Es sollten erstens bundesweit Kinderkliniken, private Praxen und nicht auf Pädiatrie spezialisierte Einrichtungen mit häufig, d. h. jährlich mehr als 20-mal, durchgeführten kinderradiologischen Untersuchungen identifiziert werden.
- An einer Stichprobe von mindestens 50 der in Schritt 1 identifizierten Einrichtungen sollte sich eine Datenerhebung anschließen, um das Verhältnis der retrospektiv über ein Jahr erfassten Häufigkeiten pädiatrischer Untersuchungen und Interventionen relativ zur Häufigkeit von Röntgenanwendungen und Interventionen bei Erwachsenen zu bestimmen. Die Häufigkeiten einzelner Untersuchungsarten und Interventionen sollten dabei getrennt erfasst werden.

Der zweite Projektteil (AP 2 und AP 3) umfasste die beiden Einzelziele:

- Aus AP 1 wurden bestimmte Röntgenanwendungen (insbesondere CT-Untersuchungen) und nach Möglichkeit bestimmte radiologische Interventionen für eine weitergehende Datenerhebung ausgewählt, für sie sollen in den teilnehmenden Einrichtungen aus einem zusammenhängenden Zeitraum von 24 Monaten anonymisierte Daten erhoben werden. Dazu gehören neben der Altersgruppe und dem Geschlecht auch dosisrelevante Parameter wie Dosisflächenprodukt und -längenprodukt bei CT-Untersuchungen.
- Mit den Erfahrungen von AP 2 wurde ein Konzept für eine regelmäßige und fortlaufende Datenerhebung zur Strahlenexposition durch pädiatrische Röntgenanwendungen erarbeitet.

3. METHODIK

Die in AP 1 vorgesehene Identifikation relevanter ärztlicher Einrichtungen erfolgte auf Basis einer Umfrage unter Chefärzten der Radiologie, Leitern der Kinderradiologie und Verantwortlichen in relevanten radiologischen Praxen. Die Umfrage wurde in Abstimmung mit den fachlich passenden Gesellschaften vorbereitet und abgestimmt. Die hierin verwendeten Definitionen einer Röntgenanwendung orientierten sich an den bestehenden DRW.

Im Anschreiben wurde allen Einrichtungen die Adresse einer Onlineumfrage zugesendet. Zusätzlich wurden allen postalisch angeschriebenen Einrichtungen in einer zweiten Welle eine Papierversion des Fragebogens und ein frankierter Rücksendeumschlag zugesendet. Die Umfrage umfasste Kontaktdaten der ärztlichen Einrichtung, Fragen zu durchgeführten Modalitäten für eine vorgegebene Menge von Standarduntersuchungen (häufiger als 20-mal jährlich an Patienten unter 16 Jahren durchgeführt) und Bereitschaft zur weiteren Studienteilnahme sowie Informationen zur weiteren Datenerhebung.

Aus den in AP 1 gesammelten Informationen wurde in Rücksprache mit dem Auftraggeber (BfS) eine Liste an Standarduntersuchungen erstellt, für die in AP 2 Geräteparameter erhoben wurden. Die Liste umfasste:

- CT-Untersuchungen der Körperregion Knie, Halswirbelsäule, Thorax, Abdomen, Schädel, Schläfenbein/Felsenbein, Ganzkörper, Sinus/Nasennebenhöhlen
- konventionelle Röntgen-Untersuchungen des Beckens/Hüfte AP[1)], Halswirbelsäule - AP/PA[2)], Halswirbelsäule - LAT[3)], Thorax AP/PA, Thorax LAT, Lunge, Abdomen AP/PA, Handwurzelknochen, Schädel AP, Schädel LAT; Durchleuchtungsuntersuchungen der Harnwege/MCU (Miktions-Cysto-Urographie) und Ösophagus-Breischluck
- interventionell-radiologische Eingriffe bei Gefäßmalformationen und Herzkatheter.

Für AP 2 wurden für diese Röntgenanwendungen in den teilnehmenden ärztlichen Einrichtungen aus einem zusammenhängenden Zeitraum von 24 Monaten anonymisierte Daten erhoben. Dazu gehören Patienten-Stammdaten (Altersgruppe und Geschlecht) und Dosis-relevante Parameter. Geräteparameter, die bei CT-Untersuchungen nach Möglichkeit erhoben werden sollten, umfassten Gerätehersteller und Gerätetyp, Expositionsparameter Röhrenspannung, Röhrenstrom und Strom-Zeit-Produkt (Exposure), Detektorkonfiguration, Anzahl ausgelesener Zeilen, Sichtfeld (FOV), und Verwendung potentiell dosisreduzierender Techniken wie der automatischen Röhrenstrommodulation oder iterativer Algorithmen zur Bildrekonstruktion, Rotationszeit, Rotationsmodus (sequentiell/Helix), Vorschub pro Rotation beziehungsweise Table Feed bei sequentiellem CT, Kollimation, Scan-Länge, CT-Dosisindex (CTDIvol), Dosislängenprodukt (DLP), CTDI-Prüfkörper (16 cm oder 32 cm) und Anzahl der Scanserien und -phasen pro Untersuchung. Geräteparameter, die bei konventionellen Röntgenuntersuchungen, Durchleuchtungen und interventionell-radiologischen Eingriffen erhoben werden sollten, umfassten Gerätehersteller und Gerätetyp, Expositionsparameter Röhrenspannung, Röhrenstrom und Strom-Zeit-Produkt (Exposure), Detektor-Typ beziehungsweise Detektor-System bei Röntgenuntersuchungen, Dosisflächenprodukt (DFP), gegebenenfalls Anzahl der Bilder, Abstand Quelle-Detektor, zusätzliche Filterung, Verwendung eines (festen) Streustrahlenrasters, Aktivierung der automatischen Expositionskontrolle, Strahlengang, gegebenenfalls die Dauer des Eingriffs (Durchleuchtungszeit, DLZ), gegebenenfalls Feldgröße, gegebenenfalls die Dosis am Referenzpunkt (kumulative Dosis beziehungsweise lokale Hautdosis).

Die Datenerfassung der technischen Untersuchungsparameter der ausgewählten radiologischen Anwendungen umfasste einen ununterbrochenen Zeitraum von 24 Monaten (01.07.2016 bis 30.06.2018). Hierzu wurde für jede Datenquelle (manuell, Radiologisches Informationssystem (RIS), Picture Archiving and Communication System (PACS), Dosismanagementsystem (DMS)) ein standardisiertes Protokoll zur Datenerhebung (SOP) und zusätzlich für das PACS die Software PACS Series Query Tool 2.0 entwickelt. Das PACS Series Query Tool benötigt eine lokale Verbindung zum Krankenhaus-PACS mit den Operationen QUERY und RETRIEVE. Es diente dazu, die technischen Untersuchungsparameter, die im Rahmen des Projektes benötigt wurden, aus den im PACS gespeicherten Bildern zu erfassen. Die dabei extrahierten Daten wurden anonymisiert in Textdateien gespeichert. Hierbei wurde in einem zweistufigen Verfahren, zuerst die Untersuchungsnamen aus AP 1 für zwei Jahre erhoben und anschließend mit dieser aktuellen Liste der Untersuchungsnamen die Untersuchungsparameter erhoben. Konkret erhebt das PACS Series Query Tool in einem ersten Schritt für den Zeitraum alle (je nach Datenmenge nur eine Stichprobe) Untersuchungen für die vom Projekt betrachteten Untersuchungsarten, die an Kindern bis zum Alter von 18 Jahre durchgeführt wurden.

In diesem ersten Schritt legte die Software daraufhin auf der lokalen Festplatte eine Exportdatei an, die die Häufigkeiten der Untersuchungen und lokalen Studienbeschreibungen erfasst. Diese Datei wurde verwendet, um ein Mapping zwischen den zu erhebenden Untersuchungen und den dazugehörigen Studienbeschreibungen in der jeweiligen Institution zu erstellen. Nach einer Überprüfung in der Einrichtung wurden in Schritt 2 der Datenerhebung mit dem PACS-Tool nur Untersuchungen dieser ausgewählten Standarduntersuchungen erfasst. Die Untersuchungsparameter wurden in vier Listen (je eine Liste für jede Modalität: Röntgen, CT,

[1)] anterior - posterior

[2)] posterior - anterior

[3)] lateral

Durchleuchtung und Angiographie) lokal in Textdateien abgelegt. War die Datenerfassung abgeschlossen, konnten die gesammelten Daten auf personenbezogene Informationen überprüft und übermittelt werden.

Den Protokollbeschreibungen wurden dann Standarduntersuchungen zugeordnet, die auf dem Klassifizierungsschema der 154. Leitlinie der Europäischen Kommission (2) basierten und an die Zwecke dieser Studie angepasst wurden. Der Algorithmus extrahierte Informationen über die Modalität, die Körperregion und den spezifischen Untersuchungstyp.

4. DURCHFÜHRUNG

Ab dem 06.10.2017 wurden 181 radiologische Einrichtungen in AP 1 postalisch kontaktiert. Zusätzlich wurden die 1 370 Mitglieder der Gesellschaft für interventionelle Radiologie (DeGIR) im Oktober 2017 einmalig über den DeGIR-E-Mail-Verteiler angeschrieben. Weitere potentielle Teilnehmer in Deutschland, Österreich und der Schweiz wurden auf Basis persönlicher Kontakte identifiziert und angeschrieben.

Die 56 in Arbeitsschritt 1 identifizierten und teilnahmebereiten Einrichtungen wurden beginnend mit dem 29.11.2017 mit einem personalisierten Anschreiben kontaktiert. Das Anschreiben ging dabei gegebenenfalls auf Rückfragen beziehungsweise Kommentare der Einrichtungen in der vorangehenden Umfrage ein.

Für den zweiten Teil von AP 1 und AP 2 wurden alle zuvor identifizierten Einrichtungen kontaktiert, die ihre Bereitschaft zur weiteren Datenerhebung erteilt hatten. Ihnen wurde eine SOP zur Erhebung der Daten im RIS, DMS oder PACS zur Verfügung gestellt. Die Datenerhebung manuell, RIS und DMS ist dabei unterschiedlich aufwendig, weswegen jeder Einrichtung anboten wurde, sie vor Ort zu unterstützen.

Für die Abfrage der bei einer Aufnahme verwendeten Geräteparameter aus dem PACS wurde das Java-basierte Softwaretool PACS-Tool 2.0 entwickelt und an der Universitätsmedizin Göttingen und Mainz erfolgreich getestet.

Die Entwicklung des PACS Query Tools benötigte mehrere Iterationen, da die Informationen aus AP 1 zur Abfrage der Daten nicht ausreichten. Aus diesem Grund musste das Tool modifiziert werden und erhebt die Daten nun in zwei Schritten. In einem ersten Schritt werden alle Daten für zwei Jahre bei Kindern abgefragt. Aus diesen Daten werden dann mit SAS 9.4 die relevanten Untersuchungen extrahiert und eine Mapping-Datei erstellt. Mit Hilfe dieser Datei werden dann in einem zweiten Schritt mit dem PACS Query Tool die Dosisparameter für die relevanten Untersuchungen erhoben. Mit Hilfe von SAS werden die beiden anonymisierten Dateien dann über die DICOM SeriesID zusammengeführt.

Ausgehend von den gesammelten Daten und Erfahrungen, wurde in AP 3 dann das Konzept für eine Machbarkeitsstudie versucht aufzuzeigen. In diese floss ein, wie in Zukunft die Häufigkeit kinderradiologischer Untersuchungen und die zugehörigen technischen Untersuchungsparameter regelmäßig erfasst und verarbeitet werden können. Hierbei wurden zunächst unterschiedliche mögliche Vorgehensweisen und Maßnahmen im Detail diskutiert und anschließend bewertet.

5. ERGEBNISSE

Insgesamt nahmen 78 Teilnehmer an der Umfrage teil (Tabelle 1). Über 80 % waren Krankenhäuser. Interventionelle Einrichtungen sind mit drei Herzzentren und zwei Klinken für Kinderkardiologie an Universitätsmedizinen vorhanden.

Tabelle 1: Verteilung der teilnehmenden Einrichtungen

Einrichtung	Häufigkeit (%)
Krankenhaus	40 (51,2)
Praxis	6 (7,7)
Praxis-Netzwerk	7 (9,0)
Universitätskrankenhaus	25 (32,1)
insgesamt	78 (100)

Von diesen hatten 12 keine pädiatrischen radiologischen Maßnahmen mit mehr als 20 Anträgen pro Jahr durchgeführt (Tabelle 2). Die gemeldete Häufigkeit hing stark von der teilnehmenden Abteilung ab. Die pädiatrische radiologische Anwendung, für die am häufigsten angegeben wurde, dass sie mindestens 20-mal

durchgeführt wurde, war die konventionelle AP/PA-Röntgenaufnahme des Brustkorbs. Es zeigte sich, dass nur sehr wenige pädiatrische radiologische Untersuchungen (Zahn-/Altersbestimmung) in Privatpraxen durchgeführt wurden. Eine Privatpraxis, die regelmäßig mehrere pädiatrische Untersuchungen durchführte, war einem Krankenhaus angeschlossen. Von den fünf interventionellen Einrichtungen hatten alle kinderradiologische Maßnahme mit mehr als 20 Anwendungen pro Jahr durchgeführt.

Tabelle 2: Absolute und relative Häufigkeiten nach Einrichtungsart mit mehr als 20 pädiatrischen radiologischen Untersuchungen

Untersuchung	(Universitäts-) Krankenhäuser (%)	Praxen (%)	gesamt (N=78)
konventionelles Röntgen: Hirnschädel AP	18 (27,7)	0 (0,0)	18 (23,1)
konventionelles Röntgen: Hirnschädel LAT	22 (33,8)	0 (0,0)	22 (28,2)
konventionelles Röntgen: Thorax AP/PA	52 (80,0)	2 (15,4)	54 (69,2)
konventionelles Röntgen: Thorax LAT	30 (46,2)	0 (0,0)	30 (38,5)
konventionelles Röntgen: Abdomen AP/PA	45 (69,2)	2 (15,4)	47 (60,3)
CT: Abdomen	16 (24,6)	0 (0,0)	16 (20,5)
CT: Thorax	28 (43,1)	1 (7,7)	29 (37,2)
CT: Hirnschädel	36 (55,4)	1 (7,7)	37 (47,4)
Durchleuchtung: MCU (Mikions-Cysto-Urographie)	38 (58,5)	1 (7,7)	39 (50,0)
Durchleuchtung: Kolonkontrasteinlauf	27 (41,5)	0 (0,0)	27 (34,6)
Interv. Maßnahme: Diagnostische Angiographie	9 (13,8)	0 (0,0)	9 (11,5)
Interv. Maßnahme: Gefäßmalformationen	9 (13,8)	0 (0,0)	9 (11,5)
weitere	47 (72,3)	5 (38,5)	52 (66,7)
keine	4 (6,2)	8 (61,5)	12 (15,4)

Von 62 identifizierten und auch an der Studie teilnehmenden Einrichtungen erhielten wir Informationen zu 1 679 337 relevanten Untersuchungen. Aus diesen wurden die Standarduntersuchungen zur weiteren Datenerfassung zu technischen Parametern ausgewählt (Kapitel 3).

Daten zu Dosis-relevanten technischen Parametern wurden von 21 Institutionen gesammelt. 4 Datensätze stammten von einem DMS, 9 von einem PACS, 7 von einem RIS und 1 Datensatz wurde mit einer Excel-Vorlage gesammelt. 9 Datensätze stammten von einem Universitätsklinikum, 11 von anderen Krankenhäusern und 1 Datensatz repräsentierte kombinierte Daten von mehreren Ärzten. Die Struktur der Datensätze und die dokumentierten Parameter zeigten eine hohe Heterogenität.

Daten von 13 513 CT-Serien, 144 524 konventionellen radiologischen Untersuchungen und 7 594 Durchleuchtungsuntersuchungen wurden gesammelt. Als Stichprobenergebnis waren unter 4 268 Brust-CT 760 für 10-14 Jahre alte Patienten. 701 dieser CT-Scans verfügten über Parameterdaten. Unter diesen war das dritte Quartil der Verteilung 2,5 mGy für CTDIvol und 71 mGy*cm für DLP - erheblich niedriger als die aktuelle DRL, die 6,5 mGy CTDIvol und 200 mGy*cm DLP spezifiziert (siehe auch Abbildung 1 und 2).

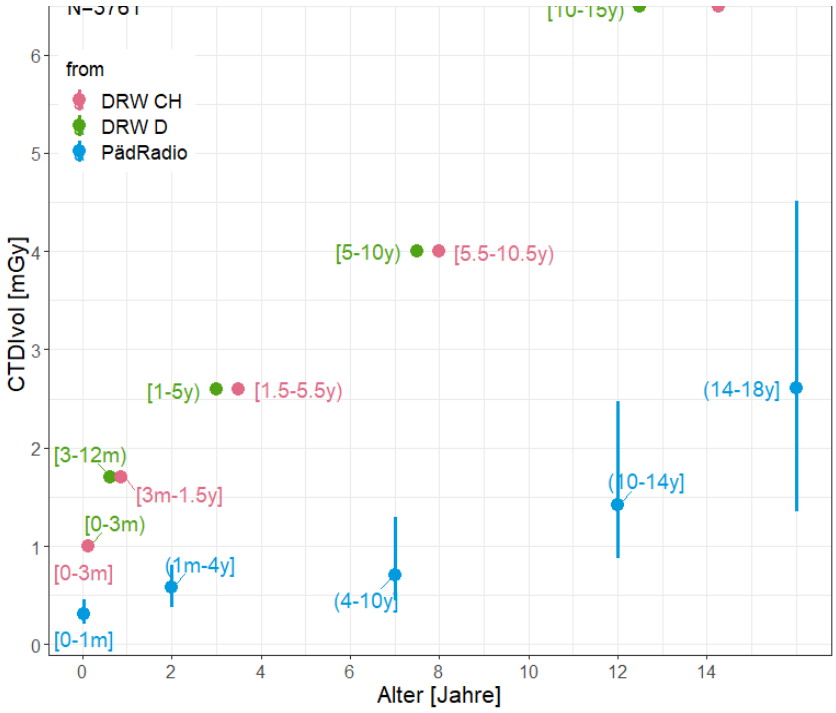


Abbildung 1: CTDIvol von CT-Thorax-Untersuchungen nach Altersgruppen getrennt zusammen mit DRW aus Deutschland und der Schweiz. Die Ergebnisse für PädRadio zeigen den Median der Verteilung der Parameterwerte (als Punkt dargestellt) sowie den Bereich vom 1. bis zum 3. Quartil (als vertikale Linie dargestellt)

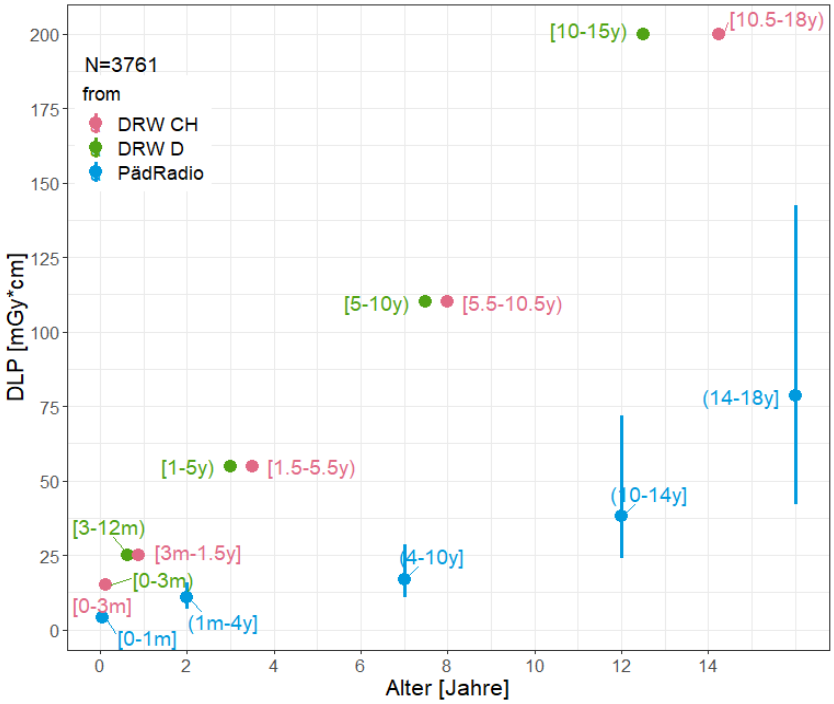


Abbildung 2: Dosislängenprodukt (DLP) von CT-Thorax-Untersuchungen getrennt nach Altersgruppen zusammen mit DRW aus Deutschland und der Schweiz. Die Ergebnisse für PädRadio zeigen den Median der Verteilung der Parameterwerte (als Punkt dargestellt) sowie den Bereich vom 1. bis zum 3. Quartil (als vertikale Linie dargestellt)

Vergleichbare Studien wurden kürzlich in Frankreich, der Schweiz und den nordeuropäischen Ländern Dänemark, Schweden, Norwegen, Island und Finnland durchgeführt. Im kinderradiologischen Bereich ist es durch die notwendige Stratifizierung nach Alters- und Gewichtsgruppierung nötig, mehr Daten zu sammeln als analog für Erwachsene als Zielgruppe. Dies ist nicht immer gelungen. Alle Studien (Schweiz unbekannt) haben sich für eine manuelle Datenerfassung entschieden - DMS, PACS und RIS als Datenquellen wurden nicht verwendet. Ein Grund für diese Entscheidung sind vermutlich die bisher nicht in IT Systemen dokumentierten Gewichtsangaben der Patienten, welche daher in der vorliegenden Studie fehlen. Die Datenerfassung direkt aus technischen Datenbanken ermöglicht jedoch den Export von viel mehr Daten in Bezug auf die Anzahl der Untersuchungen und die Anzahl der analysierten technischen Parameter.

Es ist nicht einfach, eine klare Empfehlung für das Vorgehen zur Sammlung von Daten als Grundlage zukünftiger DRW auszusprechen. Dies liegt daran, dass nicht jeder potentielle Datenlieferant über die gleichen Voraussetzungen und Ressourcen verfügt. Solange DMS Systeme, aus denen die Daten leicht zu extrahieren sind, noch nicht flächendeckend eingeführt sind, ist es nötig Kompromisse einzugehen. Eine Dosisstudie sollte im Idealfall indikationsbasierte Datensätze, die auch das Patientengewicht beinhalten, aus einem Export eines DMS-Systems analysieren und auswerten. Informationen zu den Indikationen sowie zum Gewicht und der Größe fehlen momentan noch. Zusätzlich sollten DMS-Systeme ein einheitliches und zeitlich stabiles Ausgabeformat bieten, das für eine spätere automatisierte Auswertung geeignet ist.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Bisher waren die Informationen über pädiatrische Expositionen in der diagnostischen Radiologie lückenhaft und unvollständig. Trotz der Schwierigkeiten, die bei der Rekrutierung der Zentren aufgetreten sind, konnte mithilfe dieses Vorhabens ein aktuelles und möglichst detailliertes Bild der Häufigkeiten und Strahlendosen von pädiatrischen Röntgenanwendungen in Deutschland gewonnen werden. Auf der Grundlage dieser Daten können im Einvernehmen mit den relevanten Fachgesellschaften und Aufsichtsbehörden die existierenden diagnostischen Referenzwerte aktualisiert und Referenzwerte für weitere Untersuchungen festgelegt werden. Darüber hinaus können die Ergebnisse dieses Vorhabens der Ausgangspunkt sein für weitere Maßnahmen und Initiativen zur Optimierung der pädiatrischen Expositionen (ein Promotionsprojekt zur Optimierung von pädiatrischen CT-Untersuchungen ist bereits 2020 gestartet).

Thema			
Einweisung und Schulung medizinischen Personals in die sachgerechte Handhabung von Geräten zu diagnostischen Zwecken in der Radiologie und Nuklearmedizin (Evaluation der Ausbildungsqualität im Strahlenschutz (EDAQS))			
Subject			
Instruction and training of medical staff for the proper handling of diagnostic imaging modalities in radiology and nuclear medicine (Evaluation of the quality of education in radiation protection (EDAQS))			
Kennzeichen 3617S42444	**Beginn** 01.03.2018	**Ende** 30.09.2019	**Fördermittel** EUR 282.038,-
Forschungs- / Auftragnehmer Universitätsklinikum Münster, Institut für Klinische Radiologie, Münster			
Projektleitung H. Lenzen	**Fachbetreuung BfS** Dr. H. de las Heras Gala / MB 3	**verantwortlich für den Text** P. Strauß	

1. ZIELSETZUNG

Der Ausbildungsstand der im Umgang mit ionisierenden Strahlen tätigen Personen entscheidet in hohem Maße über die Strahlenexposition und die Sicherheit von Patient und Personal. Infolgedessen wird in diesem Projekt untersucht, ob das vorhandene, in der Fachkunderichtlinie vorgeschriebene Ausbildungskonzept, bestehend aus Sachkunde und Kursen im Strahlenschutz für die praktische Durchführung eines Strahlenschutzkonzepts, zielführend ist. Überdies sollte überprüft werden, ob die nach der Medizinproduktebetreiberverordnung und Strahlenschutzverordnung erforderliche Einweisung das Personal optimal auf den dosisoptimierten Umgang mit radiologischen und nuklearmedizinischen Geräten vorbereitet. Das langfristige Ziel dieses Projekts ist die nachhaltige Verbesserung des Wissenstands des medizinischen Personals in Belangen des Strahlenschutzes und die Verbesserung der sachgerechten Handhabung von Röntgengeräten und nuklearmedizinischen Systemen zur Ausschöpfung aller Potentiale der Dosisoptimierung. Dafür wurde im Rahmen des Projekts ein neues Kurskonzept mit aktualisierten und optimierten Inhalten entwickelt. Zur Verbesserung der Inhaltsvermittlung in den Ersteinweisungen wurde ein Leitfaden basierend auf den praktischen Erfahrungen aus den Visitationen erstellt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt wurde in zwei Arbeitspaketen (AP 1 und AP 2) bearbeitet und umfasste die nachfolgend genannten Einzelziele.

2.1 AUFARBEITUNG DES SYSTEMS, DES ERWERBS UND DER AKTUALISIERUNG DER FACHKUNDE IM STRAHLENSCHUTZ UND VERGLEICH MIT INTERNATIONALEN EMPFEHLUNGEN (AP 1)

Das AP 1 bestand aus den folgenden vier Abschnitten:

- Die Ziele der Ausbildung in Bezug auf die klinische Arbeit und den Strahlenschutz wurden durch eine Expertenrunde detailliert festgelegt und darauf aufbauend Fragebögen und qualitätsbeschreibende Surrogatparameter entwickelt. Weiterhin wurden die Ergebnisse aus der Evaluation mit den Expertengruppen diskutiert.
- Rechtlich vorgeschriebene Strahlenschutzkurse (Grundkurs, Spezialkurs und Aktualisierung) wurden bei sechs unterschiedlichen Anbietern in voller Länge begleitet und durch Fragebögen hinsichtlich des vermittelten theoretischen und praktischen Wissensstoffs sowie der didaktischen Konzepte evaluiert. Hierbei wurde auch der Wissensstand und Wissenszuwachs ermittelt.
- Zur Beurteilung der Ist-Situation bei Ersteinweisungen wurden sieben Geräteeinweisungen und darauf aufbauende Übungsangebote in den drei verschiedenen Disziplinen Computertomographie, interventionelle Radiologie und Nuklearmedizin mit drei verschiedenen Herstellern begleitet und evaluiert. Außerdem wurden zwei Hersteller in den firmeneigenen Schulungszentren zur Ausbildung und Situation der Einweisungen befragt. Auch die Anwender wurden hinsichtlich der Einweisungsqualität und der Betreu-

ung in den ersten Monaten nach der Startphase befragt.

- Mit Vertretern von Fachgesellschaften wurden bezüglich des aktuellen Kurskonzepts und der Einweisungssituation Interviews geführt.
- Die Forderungen, die sich an die Umsetzung der aus AP 1 benannten Schulungen bzw. Kurse des medizinischen Personals richten, ergeben sich aus nationalen und internationalen Vorgaben. Neben einer Aufstellung dieser geforderten Maßnahmen wurde der Umsetzungsgrad im Arbeitsalltag untersucht. Die Umsetzung des Strahlenschutzes in den untersuchten Bereichen wurde in den deutschsprachigen Nachbarländern Österreich und Schweiz zum Vergleich hinzugezogen.

2.2 VORSCHLAG ZUR VERBESSERUNG DER GRUNDKENNTNISSE UND DER PRAKTISCHEN FERTIGKEITEN DES MEDIZINISCHEN PERSONALS AN GERÄTEN IN BELANGEN DES STRAHLENSCHUTZES (AP 2)

Vor dem Hintergrund der in AP 1 erzielten Ergebnisse wurden konkrete Vorschläge zur nachhaltigen Verbesserung der bestehenden Ausbildung und von (beruflich begleitenden) Schulungen des medizinischen Personals in Belangen des Strahlenschutzes in den Disziplinen Röntgendiagnostik, interventionelle Radiologie und Nuklearmedizin erarbeitet. Ziel war weiter die Erstellung eines Leitfadens zur Beschreibung der Ziele, Inhalte und organisatorischen Anforderungen von Geräteeinweisungen.

3. METHODIK

Durch die Bildung einer Expertenrunde wurden im Vorfeld Fragebögen und Surrogatparameter entwickelt, anhand derer die Qualität von Wissensinhalten und deren Vermittlung beschrieben werden konnte. Über einen speziellen Score wurde jedem Themenbestandteil eine Wertigkeit zum Zielkatalog zugeordnet. Des Weiteren diente die Expertenrunde als Plattform zur Diskussion von Ergebnissen und zur Ideenfindung für neue Konzepte.

Die Überprüfung der Kurse erfolgte durch persönliche Teilnahme von je zwei Mitarbeitern des Studienteams über die gesamte Kurszeit. Dabei wurde die Qualität der Kurse mithilfe von Checklisten hinsichtlich der didaktischen Techniken und des Skriptinhalts (insbesondere der Anteil des klinisch relevanten Wissens) untersucht. Zusätzlich wurden Kosten, Pausen, Prüfungsbedingungen und weitere relevante Rahmenbedingungen dokumentiert und diskutiert.

Neben der Auswertung des Ausbildungsmaterials erfolgten strukturierte Interviews mit Kursleitern und Referenten. Ein Maß für die Kursqualität ist insbesondere die Wissenserweiterung bei den Teilnehmern. Zur Ermittlung erfolgte eine Erhebung des Wissensstandes vor und nach dem Kurs anhand von anonymisierten Fragebögen mit persönlichen Identifikationsnummern (PIN). Hierdurch konnte die Veränderung der Qualität der Antworten individuell nachgewiesen werden. Zur Ermittlung des Wissenserhalts zwischen den einzelnen Kursen wurden den Teilnehmern ausgewählte Fragen wiederholt gestellt. Über einen weiteren Fragebogen mit PIN wurde zusätzlich eine Kurzbefragung der Teilnehmer durchgeführt. Für den Kurs zur Aktualisierung der Fachkunde wurde der Fragebogen mit Fragen zu den Erfahrungen aus dem Kurssystem und dem klinischen Alltag erweitert.
Für die drei evaluierten Kurstypen wurden jeweils dieselben Anbieter evaluiert, um die praktische Umsetzung des gesamten Kurskonzepts begleiten zu können.

Zur Beurteilungen der Einweisungsqualität wurde das generelle Ausbildungs- und Einweisungskonzept der Hersteller mit deren Verantwortlichen für die Ausbildung durch Interviews erfasst. Die Visitationen von Ersteinweisungen mit einer Dauer von mindestens zwei Tagen wurden durch zwei Mitglieder des Studienteams persönlich durchgeführt. Dabei wurden Fragebögen an die Einzuweisenden verteilt sowie ein strukturiertes Interview mit dem Einweiser geführt. Onlineangebote der Hersteller wurden zusätzlich evaluiert. Die Anwender wurden nach mehreren Wochen erneut bezüglich ihrer Erfahrungen mit dem Gerät sowie zur Qualität der Optimierungsschulung befragt.

4. DURCHFÜHRUNG

Die zuvor definierten Arbeitspakete und Ziele werden im Folgenden getrennt voneinander beschrieben.

4.1 STRAHLENSCHUTZKURSE (AP 1)

Die Kursstätten wurden vor dem Hintergrund ausgewählt, dass verschiedene Anbieter (Großanbieter, Ärztekammer und privatwirtschaftliche Anbieter) und Konzepte zur Wissensvermittlung (Präsenzkurs, Blended-Learning-Kurs) im Projekt berücksichtigt werden sollten. Alle Kursstätten boten Grund- und Spezial- und Aktualisierungskurs an. Die Teilnahme am Projekt war für alle angesprochenen Kursstätten und deren Teilnehmer freiwillig. Strukturierte Interviews konnten mit allen Kursleitern bzw. Veranstaltern geführt werden. Insgesamt wurden in 15 Kursen 974 Teilnehmerbögen ausgewertet.

4.2 EINWEISUNG (AP 1)

Es konnten sieben Einweisungen bei drei verschiedenen Herstellern in unterschiedlichen Bereichen (Praxen, Kliniken etc.) begleitet werden. Dabei konnten die praktischen Erfahrungen von 43 Teilnehmern aus der Einweisung mithilfe von Fragebögen evaluiert werden. Mit den Einweisern der Hersteller wurde ein persönliches Interview geführt. Die Onlineangebote von den drei Herstellern wurden ausgewertet.

4.3 NATIONALE UND INTERNATIONALE VORGABEN (AP 1)

Es wurden wesentliche Vorgaben, Empfehlungen, Richtlinien und Projekte aus EU und nationalen Quellen bezüglich der Strahlenschutzkurse und Einweisungen zusammengefasst und analysiert. Zugleich wurde die Gesetzgebung für Österreich bzw. Schweiz vergleichend zur deutschen Rechtsprechung ausgewertet.

4.4 EXPERTENWORKSHOPS (AP 1)

Im Rahmen von AP 1 wurden drei Workshops durchgeführt. Die Expertenrunde bestand aus Behördenvertretern, Radiologen, Medizinphysikern, Kursleitern, Lehr- und leitenden MTRAs. Inhalte der Frage- und Interviewbögen wurden abgestimmt, Ergebnisse diskutiert und Grundlagen für das AP 2 vorbereitet.

4.5 AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE (AP 2)

Die aus AP 1 erhaltenen Ergebnisse wurden als Grundlage zur Entwicklung von Lösungsvorschlägen genutzt. Dafür wurden die Problemquellen analysiert und im Rahmen eines weiteren Expertenworkshops diskutiert. Der Austausch mit den Experten wurde bis zum Abschluss von AP 2 aufrechterhalten. Zusätzlich wurden Interviews mit Vertretern von Fachgesellschaften geführt.

5. ERGEBNISSE

5.1 EVALUATION FÜR DIE KURSE IM STRAHLENSCHUTZ

Es zeigte sich, dass die Teilnehmer bereits vor dem Kurs über ein Basiswissen verfügten. Trotzdem war die Wissenserweiterung durch den Kurs in allen Kursstätten signifikant. Allerdings waren die Teilnehmer zu Beginn des nächsten Kurses in etwa auf das Ausgangsniveau zurückgefallen. Der Wissensgewinn konnte also nicht über lange Zeit stabilisiert werden.

Außerdem fiel eine Diskrepanz zwischen der Einschätzung der Teilnehmer und des Studienteams in Hinsicht der Qualität der Kurse auf. Alle visitierten Kurse wurden von den Teilnehmern hinsichtlich Didaktik und Fachkompetenz sehr ähnlich und gut bewertet. Dies könnte aus fehlenden Vergleichsmöglichkeiten der Teilnehmer zu ähnlichen Kursen resultieren. Aus der persönlichen Visitation des Studienteams hingegen wurde gefolgert, dass einige Referenten eine schwache Didaktik aufwiesen und die Inhalte selten einen Praxisbezug hatten. Insbesondere die meisten Praktika, die direkt an den Geräten stattfanden, hatten Defizite bei der Wissensvermittlung, den Räumlichkeiten und beim relevanten Praxisbezug.

Die Motivation der Teilnehmer verringerte sich zwischen Grund- und Spezialkurs. Das Konzept der Aktualisierungskurse sowie das Intervall von 5 Jahren wurden überwiegend positiv aufgenommen. Hinsichtlich eines Blended-Learning-Konzepts wurde von den Teilnehmern ein Onlineanteil mit 25 bis 50 % präferiert.

Durch die geforderten Inhalte aus der Fachkunderichtlinie kommt es zu Überschneidungen zwischen Grund- und Spezialkurs. Der Kursumfang scheint insgesamt zu hoch.

Daher wurde gemeinsam mit den Experten ein neues Kurskonzept entwickelt, welches eine höhere Zielgruppenorientierung aufweist und stärker auf die klinischen Bedürfnisse fokussiert. Hierdurch sinkt die Kursdauer. Das Ablaufschema ist in Abbildung 1 dargestellt.

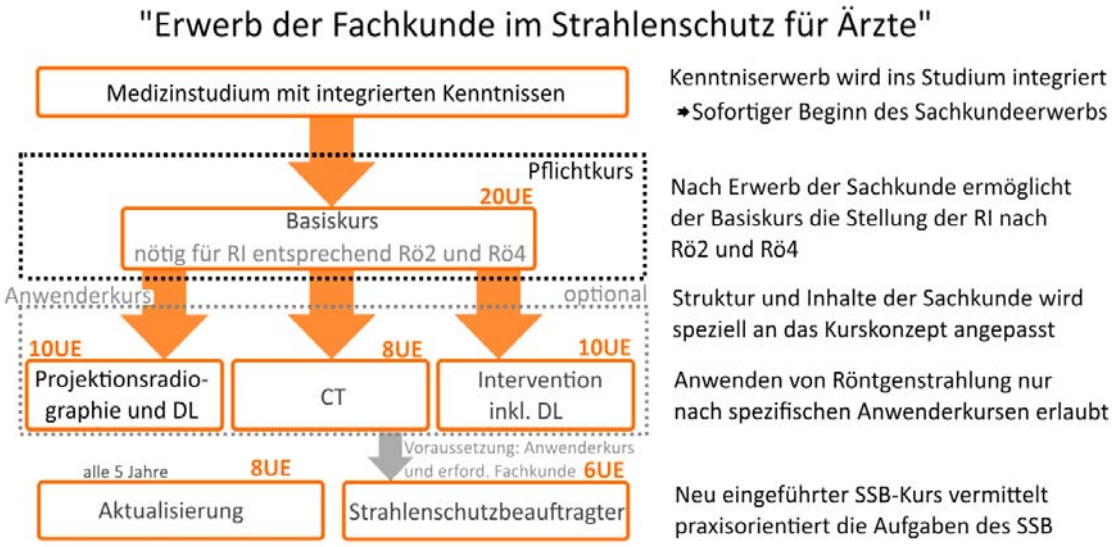


Abbildung 1: Schematischer Überblick über das neu entwickelte Kurskonzept.

Der Erwerb der Kenntnisse sollte in das Medizinstudium integriert werden, wie es bereits von der SSK im Jahr 2003 empfohlen wurde. Hierdurch wird die Kursanzahl verringert und der Sachkundeerwerb kann unmittelbar im Anschluss an die Approbation begonnen werden.

Die Inhalte des Grund- und Spezialkurses wurden optimiert und werden im Basiskurs sowie in speziellen Anwenderkursen umgesetzt und an die aktuellen Inhalte angepasst. Zusätzlich wurde ein Kurs für Strahlenschutzbeauftragte (SSB) geschaffen, in dem die rechtlichen Aspekte praxisnah vermittelt werden.

Im Basiskurs werden die zur rechtfertigenden Indikation, zum Arbeitsschutz und zur Strahlenbiologie nötigen Inhalte in 20 Unterrichtseinheiten behandelt. Hierdurch kann eine Teilfachkunde zur Stellung der Rechtfertigenden Indikation ohne technische Durchführung für die Anwendungsgebiete nach Rö2 und Rö4 erlangt werden. Diese noch zu schaffende Fachkunde wird als Basisfachkunde bezeichnet. Mit diesem Konzept ist es möglich, den Fachkundeerhalt für die rechtfertigende Indikation und Befundung von der technischen Durchführung zu trennen und somit die Anforderungen zum Erhalt der ersten Fachkunde zu verringern (20 Stunden statt bisher 44 Stunden plus Kenntniskurs).

Nach zusätzlicher Teilnahme am Anwenderkurs *Projektionsradiographie und Durchleuchtung* ist es möglich, auch die Fachkunde für die Durchführung von Untersuchungen zu erlangen.

Die Trennung zwischen rechtfertigender Indikation und Anwendung von Röntgenstrahlung sowie die Tatsache, dass letzteres nicht mehr Pflicht ist, können nach Evaluation für bis zu 21 % der Ärzte ausreichend für den klinischen Alltag sein.

Eine Alternative dieses Konzeptes sieht den Basiskurs in Kombination mit dem o.g. Anwenderkurs als Minimalvoraussetzung vor und erlaubt somit die Erlangung der jeweiligen Fachkunde ohne Einschränkung (30 Stunden statt bisher 44 Stunden plus Kenntniskurs).

Die Spezialkurse CT und Intervention wurden mit angepassten Inhalten und Kursdauer als Anwenderkurse in das neue Kurskonzept integriert.

Für alle genannten Kurse wurde ein Gegenstandskatalog entwickelt, der den Zeitumfang eines Themas mit zusätzlichen Beispielen aufführt. Ein Ausschnitt ist beispielhaft in Abbildung 2 gezeigt.

Es wurden weitere Hinweise zur Gestaltung und Präsentation der Inhalte und praktische Vorschläge zur Umsetzung eines Blended-Learning-Konzepts gegeben.

5.2 EVALUATION FÜR DAS EINWEISUNGSKONZEPT

Die vom Studienteam begleiteten Einweisungen zeigten, trotz der guten Schulungskonzepte der Hersteller individuelle Schwächen insbesondere bei der Vorbereitung der Anwender. Hierzu zählen nicht abgeschlossene Umbaumaßnahmen, fehlende Einbindung der Geräte in die IT-Infrastruktur der Abteilungen und unzureichende Personalplanungen. Zusätzlich wurden die Einweisungen häufig nur durch radiologisches Assistenzpersonal begleitet. Es fehlte eine stärkere Miteinbeziehung von ärztlichen Key-Usern, wodurch Protokolle und

Themenblock: Röntgenstrahlung		
10 min	**Projektionsgesetze**	II
	Fokus; geometrische Unschärfe; Fokus-Detektor-Abstand; Objekt-Fokus-Abstand; Vergrößerung;	
20 min	**Physikalische Eigenschaften von Röntgenstrahlung**	II
	Streuung und Schwächung; Einflüsse auf das Spektrum; Einfluss des Spektrums auf Dosis; Auflösungsvermögen; Abstandsquadratgesetz; Aufhärtung;	
25 min	**Beziehung Bildqualität und Dosis**	II
	Bildrauschen; Dosis-Kontrast-Abhängigkeit; Strahlenenergie; Spektrum; Einfluss der Streuung auf Bildqualität; Einblenden;	
Gesamtzeit:	*55 min*	

Abbildung 2: Ausschnitt aus dem Gegenstandskatalog. Für jeden Themenblock sind die Themen mit Zeiten und weiteren Beispielinhalten genannt.

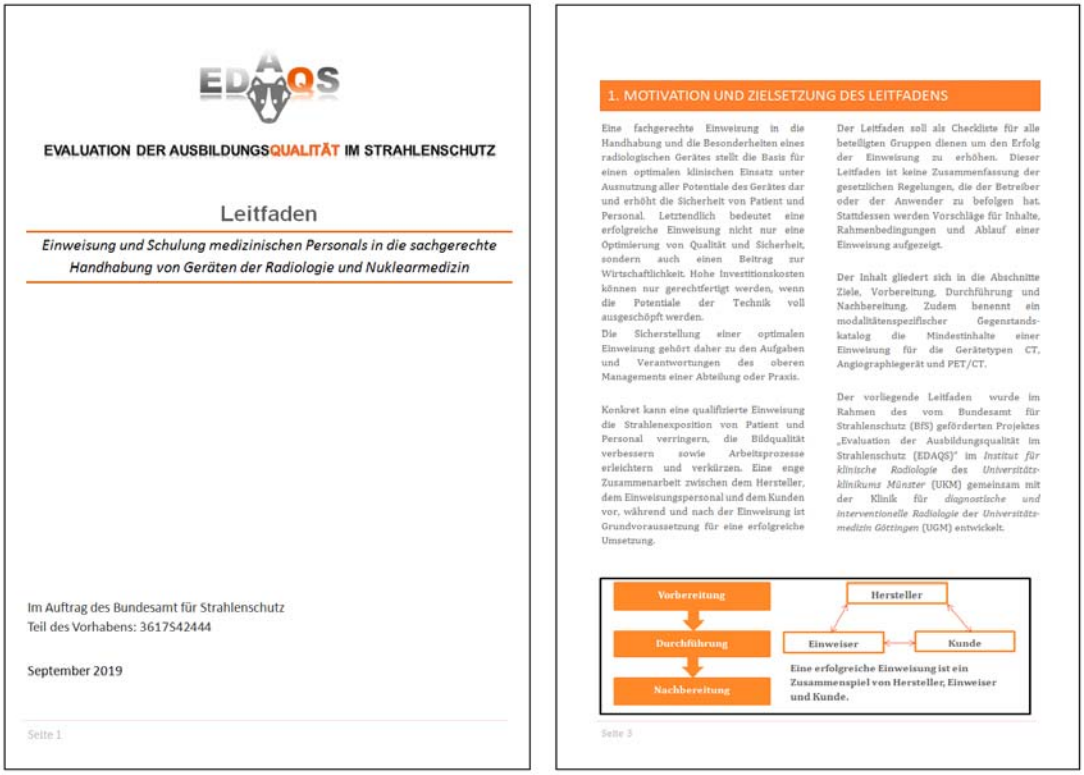
Bildqualität nicht durch die verantwortlichen Personen überprüft werden konnten. Weiter war das radiologische Assistenzpersonal im Vorhinein meist nur ungenügend über den kompletten Funktionsumfang des neuen Systems informiert.

Die Einweiser selbst konnten sich flexibel an die verschiedenen Rahmenbedingungen anpassen und wiesen mit einer Ausnahme eine hohe Erfahrung im Umgang mit den Geräten auf. Im Bereich des Strahlenschutzes und der gesetzlichen Vorgaben zeigten sich hingegen bei einigen Einweisern Defizite. Im Allgemeinen wurde während der Einweisung nur unzureichend auf strahlenschutzrelevante Inhalte eingegangen. Auch die Anwender selbst stellten zu diesem Bereich nur selten Rückfragen. Den Anwendern war es kaum möglich zu erkennen, ob der Einweiser alle wichtigen Themenpunkte behandelt hat.

Die Evaluation der Langzeiterfahrung (Befragung der Anwender ca. 6 Monate nach Ersteinweisung) zeigte, dass ein Großteil der Anwender sich nach der Ersteinweisung noch unsicher im Umgang mit den neuen Systemen fühlte. Die nach etwa 8-12 Wochen nach der Ersteinweisung sattfindende Optimierungsschulung wurde aus diesem Grunde von allen Anwendern als sehr positiv empfunden und führte zu einem verbesserten Einsatz der Geräte im klinischen Alltag.

Zur Optimierung der Einweisungssituation wurde im Rahmen des Projektes ein Leitfaden entwickelt, der den beteiligten Personengruppen ihre Aufgaben in der jeweiligen Phase einer Einweisung (Vorbereitung, Durchführung, Nachbereitung) aufzeigen soll. Deckblatt und Einleitung sind in Abbildung 3 dargestellt. Der Leitfaden soll insbesondere dem Kunden/Anwender helfen, den Ablauf der Einweisung gezielt vorzubereiten und die nötigen Maßnahmen durchzuführen.

Ergänzt wird der Leitfaden durch einen Themenkatalog mit zielgruppenorientierten Lehrinhalten und strahlenschutzrelevanten Punkten. Der Katalog unterteilt sich aus diesem Grunde nach Anwendern und Key-Usern. Die strahlenschutzrelevanten Inhalte wurden entsprechend farbig hervorgehoben. Ein Ausschnitt des Themenkatalogs ist in Abbildung 4 dargestellt.



EVALUATION DER AUSBILDUNGSQUALITÄT IM STRAHLENSCHUTZ

Leitfaden

Einweisung und Schulung medizinischen Personals in die sachgerechte Handhabung von Geräten der Radiologie und Nuklearmedizin

Im Auftrag des Bundesamt für Strahlenschutz
Teil des Vorhabens: 3617S42444

September 2019

Seite 1

1. MOTIVATION UND ZIELSETZUNG DES LEITFADENS

Eine fachgerechte Einweisung in die Handhabung und die Besonderheiten eines radiologischen Gerätes stellt die Basis für einen optimalen klinischen Einsatz unter Ausnutzung aller Potentiale des Gerätes dar und erhöht die Sicherheit von Patient und Personal. Letztendlich bedeutet eine erfolgreiche Einweisung nicht nur eine Optimierung von Qualität und Sicherheit, sondern auch einen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit. Hohe Investitionskosten können nur gerechtfertigt werden, wenn die Potentiale der Technik voll ausgeschöpft werden.

Die Sicherstellung einer optimalen Einweisung gehört daher zu den Aufgaben und Verantwortungen des oberen Managements einer Abteilung oder Praxis.

Konkret kann eine qualifizierte Einweisung die Strahlenexposition von Patient und Personal verringern, die Bildqualität verbessern sowie Arbeitsprozesse erleichtern und verkürzen. Eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Hersteller, dem Einweisungspersonal und dem Kunden vor, während und nach der Einweisung ist Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung.

Der Leitfaden soll als Checkliste für alle beteiligten Gruppen dienen um den Erfolg der Einweisung zu erhöhen. Dieser Leitfaden ist keine Zusammenfassung der gesetzlichen Regelungen, die der Betreiber oder der Anwender zu befolgen hat. Stattdessen werden Vorschläge für Inhalte, Rahmenbedingungen und Ablauf einer Einweisung aufgezeigt.

Der Inhalt gliedert sich in die Abschnitte Ziele, Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung. Zudem benennt ein modalitätenspezifischer Gegenstandskatalog die Mindestinhalte einer Einweisung für die Gerätetypen CT, Angiographiegerät und PET/CT.

Der vorliegende Leitfaden wurde im Rahmen des vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) geförderten Projektes „Evaluation der Ausbildungsqualität im Strahlenschutz (EDAQS)" im *Institut für klinische Radiologie* des *Universitätsklinikums Münster* (UKM) gemeinsam mit der Klinik für *diagnostische und interventionelle Radiologie* der *Universitätsmedizin Göttingen* (UGM) entwickelt.

Seite 3

Abbildung 3: Deckblatt und Einleitung des in diesem Projekt entwickelten Leitfadens

Durchführung und Nachbearbeitung	
Rekonstruktionsverfahren und deren Parametrisierung	Besonderheiten bei Software zur Metallartefaktreduktion, iterative Rekonstruktion, Faltungskerne, Overbeaming, Overscanning *Key-User*
Filter	Formfilter, Vorfilter, Head-Mode, Body-Mode *Key-User*
Nachbearbeitungsprozesse	MIP, MPR und VR *Alle Anwender*

Abbildung 4: Ausschnitt aus dem Themenkatalog für die Einweisung. Gelb markiert sind Inhalte mit Einfluss auf die Exposition des Patienten

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

6.1 KURSE IM STRAHLENSCHUTZ

Die Ergebnisse sind für die kommende Aktualisierung der Richtlinie „Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin oder Zahnmedizin“ zu berücksichtigen. Hinsichtlich dieser Umsetzung sind Gespräche mit den beteiligten Gremien notwendig. Unter anderem wird vorgeschlagen, einen Teil der Stunden durch Online-Module zu ersetzen (25 % bis 50 % der Kursdauer). Entsprechendes Material könnte zentral zur Verfügung gestellt werden, jedoch wird eine individuelle Ausgestaltung durch die Referenten zum Erhalt der persönlichen Didaktik empfohlen. Darüber hinaus sind Praktika wegen ihrer im Projekt festgestellten geringen Nützlichkeit zu reduzieren und sollen durch Präsentationen mit praxisnahen Inhalten wie interaktiver Darstellung der Gerätebedienung ersetzt werden. Des Weiteren sollen ausgewiesene Diskussionsblöcke ins Kursprogramm inkludiert werden.

6.2 ERSTEINWEISUNG

Um die in der Einweisung aufgetretenen Mängel zu verringern, sollte das Online-Material der Hersteller optimiert werden. Außerdem sind die Angebote an Nachschulungen in Anspruch zu nehmen. Zur weiteren Verbesserung der Einweisungssituation ist der erstellte Leitfaden an Kliniken und Hersteller über die Fachgesellschaften und/oder andere Kanäle zu verteilen, eventuell auch direkt vom BfS als Leitlinie zu veröffentlichen. Eine Ergänzung der „Richtlinie zur Durchführung der Qualitätssicherung bei Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung oder Behandlung von Menschen“ in Bezug auf die Empfehlungen dieses Leitfadens kann zur Umsetzung von unter allen beteiligten Parteien festgelegten Mindestanforderungen dienen.

Thema			
Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie			
Subject			
Preparation and revision of technical standards for radiation protection and quality assurance in medical radiology			
Kennzeichen 3618S42351	**Beginn** 04.04.2019	**Ende** 31.12.2019	**Fördermittel** EUR 65.683,-
Forschungs- / Auftragnehmer VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE), Frankfurt am Main			
Projektleitung Dipl.-Ing. J. Dehm	**Fachbetreuung BfS** Dr. H. de las Heras Gala / MB 3	**verantwortlich für den Text** W. Greger	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens war die Anpassung bestehender und neuer Normen an das Strahlenschutzrecht sowie die Prüfung und ggfs. Überarbeitung bestehender Normen als europäische Normen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Auf Grund des neuen Strahlenschutzgesetzes, welches 2019 in Kraft getreten ist, stand vor allem die Anpassung der Normen im Vordergrund. Im Folgenden werden die einzelnen Projekte aufgelistet und die jeweilige Vorgehensweise erläutert.

2.1 DIN 6853 MEDIZINISCHE FERNGESTEUERTE, AUTOMATISCH BETRIEBENE AFTERLOADING-ANLAGEN

Hier war das genaue Projekt unklar, da der Teil der Reihe nicht definiert wurde. Daher wurden beide Teile der Reihe besprochen.

Teil 2: Strahlenschutzregeln für die Errichtung

Eine gemeinsam mit der Obfrau des zuständigen Arbeitsausschusses (AA2) durchgeführte Überprüfung der Norm kam zu dem Ergebnis, dass die Norm nur geringfügig auf die neue Strahlenschutzverordnung Bezug nimmt. Daher ist eine Überarbeitung zurzeit nicht geplant, jedoch arbeitet der Ausschuss an einer Internationalisierung der Norm.

Teil 5: Konstanzprüfung von Kennmerkmalen

Die Norm wurde im Berichtszeitraum vom zuständigen Arbeitskreis überarbeitet. Das resultierende Manuskript wurde dem zuständigen Ausschuss zur Prüfung vorgelegt und auf der Herbstsitzung 2019 als Norm-Entwurf verabschiedet. Die Veröffentlichung des Entwurfs wird voraussichtlich 2020 erfolgen, nachdem das Projekt durch DIN offiziell gestartet worden ist.

2.2 DIN 6868-5 SICHERUNG DER BILDQUALITÄT IN RÖNTGENDIAGNOSTISCHEN BETRIEBEN

Teil 5: Konstanzprüfung nach RöV an zahnärztlichen Röntgeneinrichtungen

Die Norm befand sich schon in der Überarbeitung und wurde daher im März 2019 noch mit falschen Verweisen veröffentlicht. Im Juli wurde die Einspruchssitzung abgehalten und im Anschluss erfolgte die Anpassung des Norm-Entwurfs an das neue Strahlenschutzgesetz. Auf der Herbstsitzung des AA6 wurde das Projekt mit zwei Enthaltungen zur Veröffentlichung als Norm zugelassen.

2.3 DIN 6868-13 SICHERUNG DER BILDQUALITÄT IN RÖNTGENDIAGNOSTISCHEN BETRIEBEN

Teil 13: Konstanzprüfung nach RöV bei Projektionsradiographie mit digitalen Bildempfänger-Systemen

Auf der Herbstsitzung des AA6 wurde einstimmig beschlossen, dass keine Überarbeitung der Norm erfolgen wird. Stattdessen soll die Norm zurückgezogen werden, sobald die DIN 6868-4 Anfang 2020 veröffentlicht wird. Folglich wurde im Kalenderjahr 2019 die Veröffentlichung der DIN 6868-4 forciert.

2.4 DIN 6868-14 SICHERUNG DER BILDQUALITÄT IN RÖNTGENDIAGNOSTISCHEN BETRIEBEN

Teil 14: Konstanzprüfung nach RöV an Röntgeneinrichtungen für digitale Mammographie

Auf der Herbstsitzung des AA6 wurde darüber diskutiert, ob die 6868-14 mit der 6868-162 fusioniert werden soll. Dies würde jedoch einen erheblichen Mehraufwand bedeuten und zu einer sehr ausführlichen und umfangreichen Norm führen. Die Entscheidung wurde daraufhin vertagt und eine angepasste Form der DIN 6868-14 einstimmig als Norm-Entwurf verabschiedet. Das Projekt muss nun durch DIN gestartet werden und eine Veröffentlichung als Norm ist bis Ende 2020 geplant.

2.5 DIN 6868-15 SICHERUNG DER BILDQUALITÄT IN RÖNTGENDIAGNOSTISCHEN BETRIEBEN

Teil 15: Konstanzprüfung nach RöV an zahnmedizinischen Röntgeneinrichtungen zur digitalen Volumentomographie

Die Norm wurde an das neue Strahlenschutzgesetz angepasst und entspricht dem Stand der Technik. Ein entsprechend überarbeiteter Norm-Entwurf wurde auf der Herbstsitzung des AA6 einstimmig von den Experten verabschiedet. Das Projekt muss nun durch DIN gestartet werden und eine Veröffentlichung als Norm ist bis Ende 2020 geplant.

2.6 DIN 6868-150 SICHERUNG DER BILDQUALITÄT IN RÖNTGENDIAGNOSTISCHEN BETRIEBEN

Teil 150: Abnahmeprüfung nach RöV an medizinischen Röntgeneinrichtungen für Aufnahme und Durchleuchtung

Die Norm wurde an das neue Strahlenschutzgesetz angepasst und entspricht dem Stand der Technik. Ein entsprechend überarbeiteter Norm-Entwurf wurde auf der Herbstsitzung des AA6 einstimmig von den Experten verabschiedet. Das Projekt muss nun durch DIN gestartet werden und eine Veröffentlichung als Norm ist bis Ende 2020 geplant.

2.7 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

Die Norm befand sich schon in der Überarbeitung und wurde daher im März 2019 noch mit falschen Verweisen veröffentlicht. Im Anschluss an die Einspruchssitzung erfolgte die Anpassung des Norm-Entwurfs an das neue Strahlenschutzgesetz. Auf der Herbstsitzung des AA6 wurde das Projekt mit einer Enthaltung zur Veröffentlichung als Norm zugelassen.

2.8 DIN 6868-152 SICHERUNG DER BILDQUALITÄT IN RÖNTGENDIAGNOSTISCHEN BETRIEBEN

Teil 152: Abnahmeprüfung nach RöV an Röntgeneinrichtungen für Film-Folien-Mammographie

Die Norm wurde an das neue Strahlenschutzgesetz angepasst und entspricht dem Stand der Technik. Auf der Herbstsitzung des AA6 wurde das Projekt einstimmig von den Experten als Norm-Entwurf verabschiedet. Das Projekt muss nun durch DIN gestartet werden und eine Veröffentlichung als Norm ist bis Ende 2020 geplant.

2.9 DIN 6868-157 SICHERUNG DER BILDQUALITÄT IN RÖNTGENDIAGNOSTISCHEN BETRIEBEN

Teil 157: Abnahme- und Konstanzprüfung nach RöV an Bildwiedergabesystemen in ihrer Umgebung

Die Norm wurde an das neue Strahlenschutzgesetz angepasst und entspricht dem Stand der Technik. Auf der Herbstsitzung des AA6 wurde das Projekt einstimmig von den Experten als Norm-Entwurf verabschiedet. Das Projekt muss nun durch DIN gestartet werden und eine Veröffentlichung als Norm ist bis Ende 2020 geplant.

2.10 DIN 6868-159 SICHERUNG DER BILDQUALITÄT IN RÖNTGENDIAGNOSTISCHEN BETRIEBEN

Teil 159: Abnahme und Konstanzprüfung in der Teleradiologie nach RöV

Im Berichtsjahr kam keine physische Sitzung des zuständigen Arbeitsausschusses (AA4) zustande. Die

Norm wurde daher durch die Geschäftsstelle an das neue Strahlenschutzgesetz angepasst und dem Vorsitzenden des Arbeitsausschusses zugestellt. Seitens des Arbeitsausschusses sind die vorgenommenen Änderungen nun auf einer physischen Sitzung oder im Umlaufverfahren zu diskutieren und darüber abzustimmen.

2.11 DIN 6868-161 SICHERUNG DER BILDQUALITÄT IN RÖNTGENDIAGNOSTISCHEN BETRIEBEN

Teil 161: Abnahmeprüfung nach RöV an zahnmedizinischen Röntgeneinrichtungen zur digitalen Volumentomographie

Die Norm wurde an das neue Strahlenschutzgesetz angepasst und entspricht dem Stand der Technik. Auf der Herbstsitzung des zuständigen Arbeitsausschusses AA6 wurde das Projekt einstimmig von den Experten als Norm-Entwurf verabschiedet. Das Projekt muss nun durch DIN gestartet werden und eine Veröffentlichung als Norm ist bis Ende 2020 geplant.

2.12 DIN 6868-162 SICHERUNG DER BILDQUALITÄT IN RÖNTGENDIAGNOSTISCHEN BETRIEBEN

Teil 162: Abnahmeprüfung nach RöV

Die Norm wurde an das neue Strahlenschutzgesetz angepasst und entspricht dem Stand der Technik. Auf der Herbstsitzung des AA6 wurde das Projekt einstimmig von den Experten als Norm-Entwurf verabschiedet. Das Projekt muss nun durch DIN gestartet werden und eine Veröffentlichung als Norm ist bis Ende 2020 geplant.

2.13 DIN 6868-163 SICHERUNG DER BILDQUALITÄT IN RÖNTGENDIAGNOSTISCHEN BETRIEBEN

Teil 163: Abnahmeprüfung nach RöV an Röntgeneinrichtungen für die mammographische Stereotaxie

Die Norm befand sich schon in der Überarbeitung und wurde noch mit falschen Verweisen veröffentlicht. Im Anschluss an die Einspruchssitzung wurde der Norm-Entwurf an das neue Strahlenschutzgesetz angepasst.

3. METHODIK

Das Strahlenschutzrecht in Deutschland wurde gemäß der Richtlinie 2013/59/EURATOM beginnend mit den Veröffentlichungen des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) am 27. Juni 2017 und der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) am 29. November 2018 umfassend modernisiert.

Die Bestimmungen der bis 31.12.2018 geltenden Röntgenverordnung -RöV- sind inhaltlich in das Strahlenschutzrecht übernommen worden.

Bei der Anpassung an das neue Strahlenschutzgesetz stand daher im Vordergrund, die Röntgenverordnung als Verweisquelle zu ersetzen und zu prüfen ob die Norm noch dem Stand der Technik entspricht.

Die Bearbeitung und Überarbeitung von Normen ist ein stetiger Prozess. Die Bearbeitung von bereits laufenden Projekten Stand anfangs im Mittelpunkt, um eine finale Veröffentlichung nicht zu verzögern. Zusammen mit dem BMU, staatlichen Behörden und einzelnen Obleuten wurde ein gemeinsamer Konsens bezüglich der Anpassungen an das neue Strahlenschutzgesetz gefunden. Im Anschluss wurden die im Angebot enthaltenen Projekte bearbeitet.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung des Vorhabens gestaltete sich vor allem im ersten Halbjahr 2019 als schwierig.

Die Aufkündigung des Vertrags zwischen DIN und der Deutschen Röntgengesellschaft (DRG) Ende 2018 hat zu einer großen Verunsicherung unter den Experten geführt. Folglich stand vor allem im ersten Halbjahr 2019 die Normungsarbeit größten Teils still. Eine Klärung war in vielen Punkten bis zu Beginn des zweiten Halbjahres 2019 möglich, so dass die Herbstsitzungen der einzelnen Arbeitsausschüsse wieder größtenteils zur Bearbeitung von Normungsthemen genutzt werden konnten.

Parallel zu dieser Entwicklung konnte durch diverse Gespräche mit dem BMU sowie staatlichen Behörden und den Vorsitzenden einzelner Arbeitsausschüsse letztlich ein Konsens bezüglich der Anpassung an das

neue Strahlenschutzgesetz gefunden werden. So konnte die Anpassung noch vor den Herbstsitzungen vorgenommen und die Projekte auch von den Experten verabschiedet werden.

5. ERGEBNISSE

Der Arbeitsausschuss NA 080-00-06 AA „Bildgebende Systeme" hat auf Grund seiner obligatorischen Verweise auf die veraltete Röntgenverordnung, vor allem im Titel, den größten Überarbeitungsbedarf. Wie man der Einzelzielsetzung entnehmen kann, wurden die Projekte auf der Herbstsitzung besprochen und verabschiedet. Die betreffenden Dokumente sind nun Anfang 2020 als Entwurf zu veröffentlichen, so dass gegen Ende 2020 die finale Veröffentlichung als Norm erfolgen kann. Leider konnte das Projekt des NA 080-00-04 AA nicht besprochen werden, da es nur eine kurze Telefonkonferenz der Experten gab. Das Vorgehen wird hier noch mit dem Obmann abgestimmt.

Auf Grund der speziellen Struktur des NAR[1)] und der fest definierten Arbeitsabläufe in der Normung, war eine Beschleunigung des Vorgangs leider nicht möglich.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die veröffentlichten Entwürfe liegen dem Fachbegleiter vor. Trotz der Schwierigkeiten am Anfang des Jahres 2019 sind die oben genannten Projekte aktualisiert worden, was direkt zur Erfüllung der Fachaufgaben des BMU dient.

Alle erarbeiteten Normen nehmen Einfluss auf die europäische und internationale Normung, um auch die praktische Umsetzung der Richtlinie 2013/59/EURATOM im Bereich des medizinischen Strahlenschutzes erheblich zu verbessern. Mit der Erarbeitung des NAR-Normenwerks werden wesentliche nationale Vorgaben frühzeitig in die überregionalen Spiegelgremien eingebracht und, wo möglich, mit der Beteiligung von NAR-Experten aus den NAR-Ausschüssen durchgesetzt werden. Dies ist wegen der bindenden Wirkung von europäischen Normen (ISO, IEC, CEN[2)], CENELEC[3)]) von erheblicher nationaler Bedeutung und auch erforderlich, um die Ziele neuerer europäischer Vorgaben für den Strahlenschutz einheitlich umsetzen zu können.

Die im Forschungsvorhaben erarbeiteten Normen für die Qualitätssicherung in strahlentherapeutischen, nuklearmedizinischen und röntgendiagnostischen Einrichtungen werden im Rahmen des untergesetzlichen Regelwerks für den Vollzug der Strahlenschutzverordnung bezüglich Strahlenschutz und Qualitätssicherung benötigt.

Die Sachverständigen-Richtlinie befindet sich gerade in der letzten Phase der Aktualisierung und die Qualitätssicherungs-Richtlinie wird demnächst aktualisiert. Das anschließende Projekt 3620S42351 zur Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie ist für die Periode 2020 bis 2023 genehmigt worden und wird voraussichtlich im März 2020 anfangen.

[1)] Normenausschuss Radiologie

[2)] Comité Européen de Normalisation

[3)] Comité Européen de Normalisation Électrotechnique

2.3 Themenbereich 05
Radioökologie

2.3 Subject area 05
Radioecology

Thema Experimentelle Bestimmung von Kd-Werten für endlagerrelevante Radionuklide und REFESOL-Böden **Subject** *Experimental determination of Kd-values for final repository relevant radionuclides and REFESOL-soils*			
Kennzeichen 3616S52530	**Beginn** 01.05.2017	**Ende** 28.02.2019	**Fördermittel** EUR 347.923,-
Forschungs- / Auftragnehmer G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg IAF-Radioökologie GmbH, Radeberg BGD ECOSAX GmbH, Dresden			
Projektleitung Dr. R. Kahnt M. Schlegel	**Fachbetreuung BfS** L. Urso / UR 6	**verantwortlich für den Text** M. Schlegel, Dr. R. Kahnt, K. Hellmann, F. Kurzius, Dr. H. Hummrich	

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen von Langzeitsicherheitsanalysen zur sicheren Verwahrung hochradioaktiver Stoffe in verschiedenen geologischen Formationen muss durch zuverlässige geologische Modelle nachgewiesen werden, dass auch über sehr lange Zeiträume hinweg keine Radionuklide aus dem Endlager in die Biosphäre gelangen können. Falls nach langen Zeiträumen gelöste Radionuklide direkt in die Biosphäre gelangen (Grundwasseraufstieg) oder derart kontaminiertes Grundwasser aus geologischen Tiefen für die Beregnung abgepumpt wird, sind die möglichen radioökologischen Konsequenzen abdeckend und möglichst realistisch zu modellieren. Bei der Modellierung dieser wassergebundenen Transportprozesse in der Biosphäre spielt der Verteilungskoeffizient Kd, der die Verteilung von Ionen zwischen der Lösung und der festen Phase im Boden beschreibt, eine entscheidende Rolle. Die elementspezifischen Kd-Werte können standort- und witterungsbedingt über mehrere Größenordnungen schwanken. Durch Einbeziehung mehrerer Bodenparameter wird versucht, die Streubreite der Kd-Werte einzuengen, um standortspezifisch bessere Prognosen machen zu können.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Säulenexperimente durchgeführt, die die Szenarien Grundwasseraufstieg und Beregnung für verschiedene REFESOL-Modellböden abdecken, so dass ein einheitlicher Datensatz für die Validierung des Modells zur Verfügung steht. Im Fokus des Forschungsvorhabens standen die endlagerrelevanten Radionuklide Ni-63, Se-79, I-129, Cs-135, Ra-226, Np-237, U-238, Am-241 und Pu-239.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Im Vorfeld der Experimente wurde eine Literaturrecherche unter dem Hintergrund der Optimierung der Versuchsreihe durchgeführt. Zudem wurde diskutiert, inwieweit die Versuchsreihe auf deutsche landwirtschaftliche Verhältnisse zu übertragen ist.

2.2 DURCHFÜHRUNG DER SÄULENVERSUCHE ZUR ERMITTLUNG DER KD-WERTE

Für 2 Referenzböden wurden Säulenversuche durchgeführt, die die Szenarien Grundwasseraufstieg und Beregnung abbilden. Die endlagerrelevanten Radionuklide wurden dabei teilweise durch leichter verfügbare Isotope des gleichen Elements ersetzt (Cs-134, Se-75, Pu-238). Analysiert wurden die gebundenen Radionuklide an der Bodensubstanz sowie die Radionuklide in der Bodenlösung zum Ende der Versuchsreihe, um die Kd-Wert-Berechnung durchzuführen.

2.3 VALIDIERUNG DES SYSTEMMODELLS

Die durchgeführten Experimente wurden mit dem vorhandenen Modell nachsimuliert. Die experimentell ermittelten Kd-Werte wurden mit den vom Modell berechneten Werten verglichen, um dessen Gültigkeit zu untermauern.

3. METHODIK

In der Versuchsplanung wurde der experimentelle Aufbau durch die Literaturrecherche sowie einer Vorabsimulation optimiert. Dies war notwendig, um die einzusetzenden Aktivitäten so einzustellen, dass die radioaktive Belastung minimiert wurde und gleichzeitig ausreichend Aktivität für die Radionuklidanalyse bereitgestellt werden konnte. Anschließend fanden die Säulenexperimente statt, bei denen in Szenario 1 der Grundwasseraufstieg und in Szenario 2 die Beregnung mit radioaktiv belastetem Wasser experimentell realisiert wurden. Aus den Analysen des finalen Zustands wurden die Kd-Werte der Radionuklide abgeleitet, die mit den Modellprognosen verglichen wurden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Literaturrecherche zielte darauf ab den Stand der Technik der Säulenexperimente aufzuzeigen. Weiterhin wurden relevante Prozesse im Feldmaßstab und deren realitätsnahe Darstellung in Säulenversuchen erläutert. Auf Grundlage der Ergebnisse wurden Schlussfolgerungen für die Experimente „Einstauversuch“ und „Beregnung“ gezogen.

Auf Grund der hohen Sorptionsfähigkeiten vieler Radionuklide wurde ergänzend eine modellbasierte Versuchsplanung zur Optimierung der Stammlösung durchgeführt.

4.2 DURCHFÜHRUNG DER SÄULENVERSUCHE ZUR ERMITTLUNG DER KD-WERTE

Unter Einbeziehung der Ergebnisse des ersten Forschungsziels wurden die Säulenversuche wie folgt geplant.

4.2.1 Grundwasseraufstieg

Der Versuchsaufbau (s. Abb. 1) besteht aus einer Mariotteschen Flasche als Vorratsgefäß für das zu verwendende radioaktive Versuchswasser zur Erzielung von Ausflussbedingungen, die unabhängig vom Wasserstand in dem Vorratsgefäß sind, einer Säule, 6 spiralförmig angeordneten Feuchtigkeits- und Temperatursensoren und einem Datenlogger.

Im Bodenfuß der Säule befindet sich eine Verteilschicht, auf der eine feinmaschige Gage (=Gauge) aufgelegt ist. Diese stellt die Trennung zwischen Verteilschicht und Boden dar. Die Mariottesche Flasche wird auf die Druckhöhe eingestellt, bei der das Wasser nur in die Verteilschicht (bis zur Oberkante) eingestaut wird. Der vertikale Wasserzufluss in den Boden soll nur durch die Kapillarkräfte des Bodenmaterials erfolgen. Anhand der Feuchtemessung durch die Sensoren werden das Aufsteigen der Wasserfront und die Feuchtigkeitszunahme je Bodenhöhe erfasst.

Abbildung 1: Versuchsaufbau des Einstauversuchs

4.2.2 Beregnung mit kontaminiertem Wasser

In diesem Säulenversuch (s. Abb. 2) werden die Böden mit radioaktiv dotiertem Wasser berieselt. Die Aufgabelösung gelangt durch mehrere Kanülen auf die Bodenoberfläche. Die Zugabe erfolgt tropfenweise, um die Bildung von Fließkanälen zu vermeiden. Gleichzeitig wird die Tagesmenge an Wasser über einen Zeitraum von wenigen Stunden zugeführt. Von der Oberfläche sickert das Wasser durch Gravitationskräfte und Kapillarkräfte durch die Bodensäule. Um eine rückgestaute Infiltration zu verhindern, wird an der Unterseite der Säule ein Unterdruck angelegt, der dem Kapillardruck bei Feldkapazität entspricht. Im Bereich der Feldkapazität findet der Haupttransport des Sickerwassers statt. Das Sickerwasser wird in einem Probengefäß gesammelt.

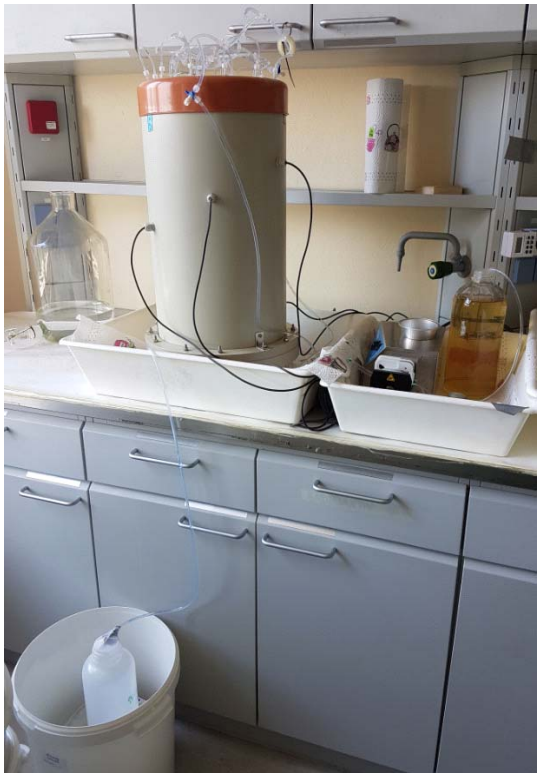


Abbildung 2: Versuchsaufbau des Beregnungsversuchs

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Recherche ergab, dass eine Vielzahl verschiedener Laborversuche existiert, wobei jeder Versuchsaufbau darauf abzielt einen spezifischen Prozess besser quantifizieren zu können. In Anbetracht der zu ermittelnden Parameter ist es möglich, die Kd-Werte der Radionuklide auf Grundlage labortechnischer Analysen zu bestimmen. Basierend auf den Randbedingungen und den spezifischen Materialeigenschaften sollen mit dem Modell die Kd-Werte geprüft werden. Ist dies erfolgreich, kann das Modell allgemeingültig auf landwirtschaftliche Flächen übertragen werden. In diesem Schritt können die die Ausbreitung steuernden Parameter Evaporation, Wasserentzug aus dem Bodenraum als Folge der pflanzlichen Transpiration oder auch der Makroporenfluss berücksichtigt werden.

5.2 DURCHFÜHRUNG UND SIMULATION DER EINSTAUVERSUCHE

Die Einstauversuche für die Referenzböden wurden erfolgreich abgeschlossen. Da die meisten Radionuklide eine hohe Sorptionsfähigkeit an den Modellböden aufweisen, ist die Ausbreitung der Radionuklide auf die untersten Zentimeter der Bodensäule beschränkt. Es wurden daher Analysen an je 3 cm mächtigen Schichten am Säulenfuß durchgeführt. Eine feinere Aufteilung der Bodenschichten war nicht möglich, da ausreichend Probenmaterial (Feststoff und Bodenlösung) für die Radionuklidanalyse bereitgestellt werden musste. Die Radionuklidanalyse stand vor der großen Herausforderung, mit wenig Probenmaterial und einer nicht uner-

heblichen Anzahl von Radionukliden belastbare Messergebnisse zu ermitteln. Die Kd-Werte wurden aus den Aktivitäten in Feststoff und Bodenlösung erhalten. Die geringsten Kd-Werte wurden erwartungsgemäß für I-129 ermittelt. Die Modellergebnisse spiegelten die experimentell bestimmten Kd-Werte z. T. wider. In einigen Fällen war die chemische Datengrundlage des Modells nicht ausreichend (z. B. Se). Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die Ausbreitung der effektiven Radionuklidfront, die durch hohe adsorptiv gebundene Radionuklidaktivitäten gekennzeichnet ist, die ersten Zentimeter (ca. 3 cm) nicht überschritten hat. Die höherliegenden Schichten weisen demnach nur geringe Radionuklidaktivitäten auf, die die Sorptionsprozesse kinetisch hemmen und zur experimentellen Unterschätzung der Kd-Werte führen. Folglich können nur die belastbaren Kd-Werte der ersten Schicht mit der Modellierung abgeglichen werden.

5.3 DURCHFÜHRUNG UND SIMULATION DER BERIESELUNGSVERSUCHE

Die etwa über ein halbes Jahr laufenden Berieselungsversuche für die Referenzböden wurden erfolgreich abgeschlossen. Auf Grund der hohen Sorptionskraft ist der Großteil der Radionuklide in den obersten Zentimetern der Bodensäule festzustellen. Es wurden daher Analysen an je 5 cm mächtigen Schichten an der Oberkante der Bodensäule durchgeführt. Eine feinere Unterteilung der Bodensäule war nicht möglich, um ausreichend Probenmaterial (Feststoff und Bodenlösung) für die Radionuklidanalyse bereitzustellen. Analog zu den Einstauversuchen wurden die geringsten Kd-Werte für I-129 ermittelt. Es ist das einzige Radionuklid, das die Bodensäule gänzlich durchbrochen hat. Die effektive Ausbreitungsfront aller anderen Radionuklide endet in den obersten 5 cm. Dennoch bleibt stets eine Restaktivität in der Bodenlösung zurück, die so niedrig ist, dass die Sorptionsprozesse kaum stattfinden. Als Konsequenz konnten die Radionuklide im Perkolat der Säulenversuche nachgewiesen werden. Besonders hohe Aktivitäten wurden in dem Zusammenhang für I-129 aber auch Ni-63 festgestellt (s. Abb. 3). Der modelltechnische Abgleich der Kd-Werte war ähnlich zu den Einstauversuchen nur z. T. erfolgreich. Neben der ungenauen Datenbank des Modells sind auch Effekte in der Bodensäule zu vermuten. Anhand von zusätzlichen einfachen Sorptionstests im Vorratsgefäß konnte eine spontane Ausfällung verschiedener Radionuklide beobachtet werden. Diese werden in der Analyse fälschlicherweise dem adsorbierten Anteil zugerechnet, was in einem überhöhten Kd-Wert resultiert. Besonders von der Ausfällung waren die Radionuklide Pu-238 und Am-241 betroffen. Aber auch Se-75, U-238 und Ra-226 werden mäßig stark aus der Lösung entfernt.

Vergleicht man weiterhin die Kd-Werte von I-129 der Versuche Beregnung mit denen des Versuchs Einstau ist festzustellen, dass die Kd-Werte am Ende des Beregnungsversuchs deutlich höher sind. Dies führt dazu, dass die Kinetik der Radionuklidsorption eine größere Rolle spielt als dies bisher angenommen wurde. Für die Beschreibung der Ausbreitung und Pflanzenverfügbarkeit der Radionuklide im Boden sollte nicht nur auf Gleichgewichtskonstanten geachtet werden.

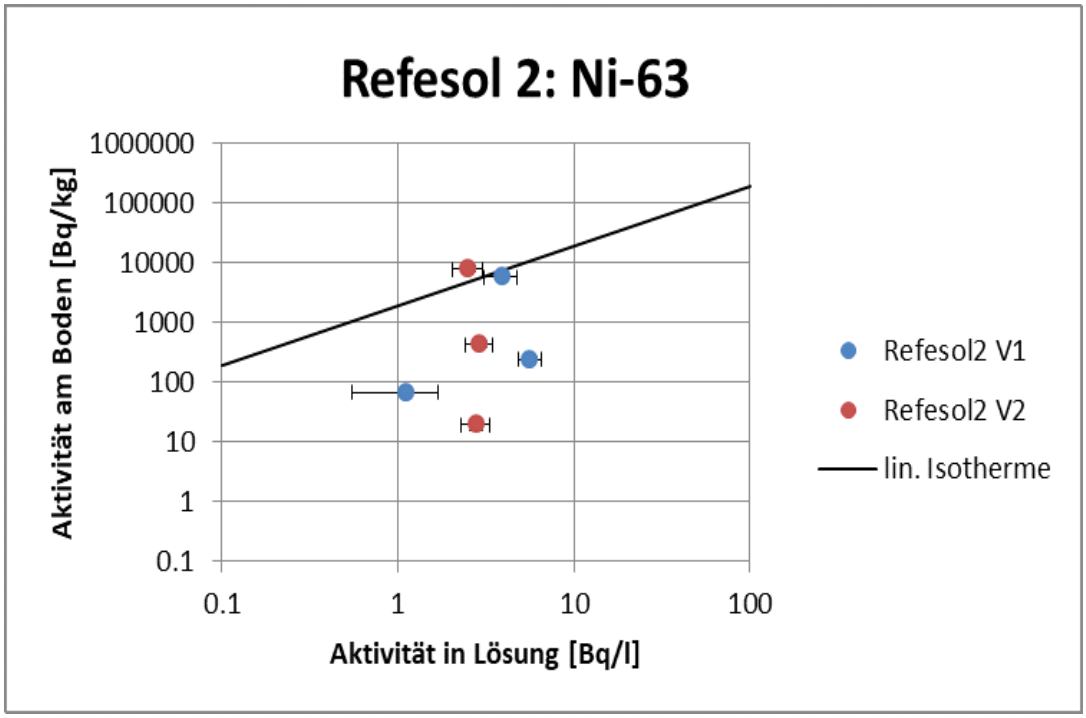


Abbildung 3: Analyse Ergebnisse Ni-63 für einen Beregnungsversuch

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Der Kd-Wert ist ein essentieller Parameter für die Modellierung der Migration von Radionukliden in einem Medium (beispielsweise Böden oder Festgesteine).

Im Forschungsvorhaben sollte in Säulenversuchen für verschiedene Radionuklide für Sickerwasser und in Einstauversuchen der Kd-Wert experimentell bestimmt werden. Die experimentellen Ergebnisse sollten für eine Validierung von früheren theoretischen Modellberechnungen verwendet werden. Bei letzteren zeigten die Ergebnisse, dass sich durch thermodynamische Modellberechnungen die hohe Unsicherheit bei tabulierten Kd-Werten deutlich reduzieren lässt. Die experimentellen Ergebnisse erweitern außerdem die Datenbanken zu den Kd-Werten (z. B. IAEA Technical Report No. 472), die für verschiedene Radionuklide auf Grund einer hohen Bandbreite an Kd-Werten von sehr begrenztem Nutzen sind.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens zeigen, dass die experimentelle Validierung der theoretischen Modellrechnungen mittels hydrogeochemischen Speziationsmodellen wie PHREEQC mit einem hohen Aufwand und erheblichen Schwierigkeiten verbunden ist. Die Übereinstimmung zwischen experimentellen Ergebnissen und theoretischen Berechnungen ist nur bei wenigen Radionukliden (z. B. Cs, I) zufriedenstellend. Dies liegt vermutlich überwiegend daran, dass in den Modellen ein thermodynamisches Gleichgewicht angenommen wird. Die vom Radionuklid abhängige Kinetik sorgt allerdings oft dafür, dass sich in den Experimenten erst über einen längeren Zeitraum dieses Gleichgewicht einstellt.

Simulationen mit Speziationsmodellen für die Berechnung von Kd-Werten benötigen eine umfassende Datengrundlage. Die Beschaffung der notwendigen Daten ist sehr aufwändig (z. B. müssen die hydrologischen und chemischen Eigenschaften des Bodens bzw. der Wasserlösung gemessen werden). Es wird künftig von der Fragestellung und Relevanz des gewünschten Kd-Werts abhängen, ob der Aufwand für eine Reduzierung der Unsicherheit als angemessen betrachtet wird. Um die Anwendbarkeit von Speziationsmodellen zu erweitern, sollen zukünftig z. B. spezifische Konstanten für Cofällungsreaktionen mancher Radionuklide experimentell ermittelt werden.

Um die Unsicherheit bei der Wahl von Kd-Werten weiter zu reduzieren, sollen weitere alternative Ansätze geprüft werden, wie z. B. die Entwicklung von sogenannten parametrischen Gleichungen, die auf der statistischen Korrelation zwischen Kd-Werten und relevanten Bodenparametern basieren.

2.4 Themenbereich 06 Notfallschutz

2.4 Subject area 06 Emergency management

Thema			
Ausbau der wissenschaftlichen und der technischen Basis für die Aufgaben des Teams „Strahlenschutz“ im Notfallzentrum der GRS			
Subject			
Enhancement of the scientific and technical basis for the tasks of the team "Radiation Protection" within GRS' emergency center			
Kennzeichen 3616S62550	**Beginn** 06.03.2017	**Ende** 31.12.2019	**Fördermittel** EUR 547.560,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH			
Projektleitung Dr. M. Sogalla	**Fachbetreuung BfS** N. Zander / RN 2	**verantwortlich für den Text** Dr. M. Sogalla	

1. ZIELSETZUNG

Zur Wahrnehmung seiner Aufgaben im GRS-Notfallzentrum stützt sich das Team Strahlenschutz der GRS im Wesentlichen auf seine Fachkompetenz, die bislang im Rahmen verschiedener Vorhaben zum radiologischen Arbeitsschutz, zur Analyse möglicher radiologischer Freisetzungen im Ereignisverlauf und zum Notfallschutz aufgebaut und weiterentwickelt wurde. Mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben sollte diese Kompetenz für die Entwicklung und den Ausbau einer schnell und effizient nutzbaren wissenschaftlichen Basis von Informationen und Methoden genutzt und Lücken bezüglich bislang nicht durch andere Vorhaben abgedeckter Forschungsaspekte geschlossen werden.

Dadurch sollte insbesondere auch die gegenwärtige und die zukunftsorientierte Kompetenz der GRS für die fachliche Beteiligung an der Erstellung eines Lagebildes in Bezug auf ein breites Spektrum von nuklearen und radiologischen Notfällen gestärkt werden. Letztere wird insbesondere auf Grund der zukünftigen Veränderung von Kapazitäten im anlagenexternen Notfallschutz und der zu erwartenden Verschiebung von Aufgabenfeldern von der Landes- auf die Bundesebene in Verbindung mit der Beendigung der Kernenergienutzung in Deutschland erforderlich werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Forschungen zum Ausbau der wissenschaftlichen und technischen Basis umfassten drei Module mit jeweils eigenen Zielsetzungen.

2.1 WISSENSCHAFTLICHE BASIS ZUR BEWERTUNG DER RADIOLOGISCHEN SITUATION IN DER ANLAGE BEI SCHWEREN UNFALLABLÄUFEN (MODUL 1)

Auf der Basis verfügbarer Analysen auslegungsüberschreitender Ereignisse wurde systematisch untersucht, welche ereignisbedingten Rahmenbedingungen für die Strahlenbelastung des Personals und die Umsetzung von anlageninternen Handlungsoptionen bei kerntechnischen Unfällen auftreten können und wie diese möglichen Einschränkungen zu bewältigen sind.

2.2 WISSENSCHAFTLICHE BASIS ZUR NUTZUNG KOMBINIERTER RADIOLOGISCHER UND ANLAGENTECHNISCHER INFORMATIONEN FÜR DIE DIAGNOSE UND PROGNOSE DES UNFALLABLAUFS (MODUL 2)

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in diesem Modul sollten die Kompetenz der GRS verbessern, auf Basis der im Ereignisfall verfügbaren Informationen erforderliche Quelltermabschätzungen zu qualifizieren oder vorzunehmen und für die Erstellung von Lagebildern verfügbar zu machen bzw. Stellungnahmen zu seitens des Betreibers vorliegenden Prognosen abzugeben.

2.3 ENTWICKLUNG VON REFERENZSZENARIEN UND BERECHNUNGSMETHODEN FÜR DIE ERMITTLUNG NOTFALLSCHUTZRELEVANTER FREISETZUNGEN BEI RADIOLOGISCHEN NOTFÄLLEN (MODUL 3)

Zur Gestaltung von Übungen und für sicherheitstechnische Bewertungen waren durch die GRS auch Unfallabläufe bei der Beförderung und bei der Handhabung sonstiger radioaktiver Stoffe analysiert worden, z. T. unter auslegungsüberscheitenden Bedingungen und mit notfallschutzrelevanten radiologischen Konsequenzen. Diese Untersuchungen sollten zur verbesserten Einschätzung derartiger Unfalllabläufe mit Relevanz für Notfallschutzmaßnahmen systematisch erweitert und aufbereitet werden.

3. METHODIK

Die Methodik zum Ausbau der Wissensbasis gliederte sich für jedes der drei Module, die in Abschnitt 2 erläutert sind, in die folgenden Schritte:

- Analyse und Zusammenstellung der bestehenden Erkenntnisse und Methoden:
  Der jeweils modulbezogene Kenntnisstand wurde recherchiert, zusammengestellt und für das Vorhaben aufbereitet. Dazu zählten insbesondere auch unter anderen Gesichtspunkten bei der GRS entwickelte Methoden und Modelle, die potenziell für die Arbeit im Notfallzentrum genutzt werden können.
- Bewertung der Informationen im Hinblick auf die Arbeit des Teams Strahlenschutz:
  Die Erkenntnisse und Methoden wurden im Hinblick auf ihre Nutzungsmöglichkeiten und -grenzen für die Aufgaben des Teams Strahlenschutz ausgewertet und - soweit erforderlich und mit vertretbarem Aufwand durchführbar - ggf. ergänzt. Umfangreicherer Anpassungs- oder Ergänzungsbedarf wurde ausgewiesen.
- Synthese von aufgabenbezogenen Werkzeugen und Arbeitshilfen:
  Für die Arbeiten des Teams Strahlenschutz wurden die relevanten Informationen und Methoden in handhabbare Unterstützungssysteme und Dokumentationsunterlagen zusammengefasst.
- Dokumentation und Schulung:
  Um einen effizienten Einsatz der erstellten Arbeitshilfen und Werkzeuge zu ermöglichen, wurden Anwendungshilfen und Schulungsunterlagen erstellt. Die Schulungsunterlagen umfassen sowohl Anwendungsbeispiele und Übungseinheiten, die für Einzeltraining oder Selbststudium geeignet sind, als auch Module zum Training des gesamten Teams Strahlenschutz. Die Anwendung wurde in Schulungen vermittelt.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben war in die folgenden Arbeitspakete (AP) gegliedert:

- Aufarbeitung des für das Vorhaben relevanten Standes von Wissenschaft und Technik (AP 1)
- Wissenschaftliche Basis zur Bewertung der radiologischen Situation in der Anlage bei schweren Unfallabläufen (Modul 1, AP 2)
  Auf der Basis verfügbarer Analysen auslegungsüberschreitender Ereignisse wurde systematisch untersucht, welche ereignisbedingten Rahmenbedingungen für die Strahlenbelastung des Personals und die Umsetzung von anlageninternen Handlungsoptionen bei kerntechnischen Unfällen auftreten können und wie diese möglichen Einschränkungen zu bewältigen sind. AP 2 gliederte sich in die folgenden Schritte:
  - Analyse von Handlungsoptionen im Notfall aus radiologischer Sicht (AP 2.1)
  - Erarbeitung von Bewertungsschemata für Handlungsoptionen unter radiologischen Gesichtspunkten (AP 2.2)
  - Anleitung und Schulung zur Anwendung der neuen Bewertungsschemata (AP 2.3)
- Wissenschaftliche Basis zur Nutzung kombinierter radiologischer und anlagentechnischer Informationen für die Diagnose und Prognose des Unfallablaufs (Modul 2, AP 3)
  Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in diesem Modul dienten dazu, die Kompetenz der GRS zu verbessern, auf Basis der im Ereignisfall verfügbaren Informationen erforderliche Quelltermabschätzungen zu qualifizieren oder vorzunehmen und für die Erstellung von Lagebildern verfügbar zu machen bzw. Stellungnahmen zu seitens des Betreibers vorliegenden Prognosen abzugeben. AP 3 gliederte sich in die folgenden Schritte:
  - Verknüpfung anlageninterner und anlagenexterner Informationen für die Quelltermabschätzung

(AP 3.1)
    - Vereinfachte Quelltermabschätzung bei eingeschränkter Informationslage (AP 3.2)
    - Anleitung und Schulung zur Anwendung der neuen Verfahren zur Quelltermabschätzung (AP 3.3)
- Entwicklung von Referenzszenarien und Berechnungsmethoden für die Ermittlung notfallschutzrelevanter Freisetzungen bei radiologischen Notfällen (Modul 3, AP 4)
  Zur Gestaltung von Übungen und für sicherheitstechnische Bewertungen sind durch die GRS auch Unfallabläufe bei der Beförderung und bei der Handhabung sonstiger radioaktiver Stoffe analysiert worden, z. T. unter auslegungsüberschreitenden Bedingungen und mit notfallschutzrelevanten radiologischen Konsequenzen. Diese Untersuchungen sollten zur verbesserten Einschätzung derartiger Unfalllabläufe mit Relevanz für Notfallschutzmaßnahmen systematisch erweitert und aufbereitet werden. AP 4 gliederte sich in die folgenden Schritte:
    - Analyse und Aufbereitung von Referenzszenarien (AP 4.1)
    - Entwicklung von Analysetools (AP 4.2)
    - Anleitung und Schulung zur Anwendung der neuen Analysetools (AP 4.3)
- Projektmanagement und Projektcontrolling (AP 5).

5. ERGEBNISSE

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

Im AP 1 wurde der für das Vorhaben relevante Stand von Wissenschaft und Technik zusammengestellt. Die behandelten Themen betreffen die Aufgaben des GRS-Notfallzentrums und des Teams „Strahlenschutz“, die Umsetzung des Strahlenschutzgesetzes und die damit verbundene Erarbeitung der Notfallpläne sowie Methoden und Modelle, die für die Quelltermprognose und -Abschätzung sowie zur Modellierung der Aktivitätsfreisetzung und der Ortsdosisleistung für Anlagenbereiche bei Stör- und Unfällen existieren.

5.2 WISSENSCHAFTLICHE BASIS ZUR BEWERTUNG DER RADIOLOGISCHEN SITUATION IN DER ANLAGE BEI SCHWEREN UNFALLABLÄUFEN (AP 2, MODUL 1)

Im AP 2 wurde zunächst eine Recherche der relevanten Anforderungen an anlageninterne Notfallschutzmaßnahmen fortgeführt und das Ergebnis dokumentiert. Die Beschränkung der Datengrundlage auf frei verfügbare Dokumente lässt dabei nur generische Aussagen über erforderliche personelle Maßnahmen und radiologische Randbedingungen zu. Dennoch ist aus den Ergebnissen eine allgemeine Methodik zur Bewertung von Handlungsoptionen unter radiologischen Gesichtspunkten ableitbar. Die hierfür erforderliche Wissensbasis wurde durch umfangreiche Berechnungen zur radiologischen Situation in der Anlage erarbeitet. Dazu wurden verfügbare Unfallanalysen in Bezug auf potenzielle Strahlenexpositionen in der Anlage ausgewertet. Zu diesem Zweck wurden die Aktivitätsfreisetzung in unterschiedlichen Anlagenbereichen sowie die Ortsdosisleistung (ODL) berechnet.

Auf dieser Basis wurde die Strahlenexposition durch Direktstrahlung und durch Inhalation bei kurzzeitigem Aufenthalt auf dem Anlagengelände oder in Hilfsanlagengebäuden einer KONVOI-DWR[1)]-Anlage abgeschätzt. Zu Vergleichszwecken wurde auch die Exposition bei einem hypothetischen Aufenthalt im Ringraum herangezogen. Ein Beispiel der Berechnungsergebnisse ist in Abbildung 1 dargestellt. Deutlich ist der Anstieg der ODL Im Ringraum nach Einsetzen der Kernschmelze sowie die mit der gefilterten Druckentlastung verbundene ODL-Spitze auf dem Anlagengelände erkennbar.

Die Berechnungsergebnisse können zur Abschätzung der Strahlenexposition des Personals bei der Durchführung von Arbeiten in den betreffenden Anlagenbereichen genutzt werden.

[1)] Druckwasserreaktor

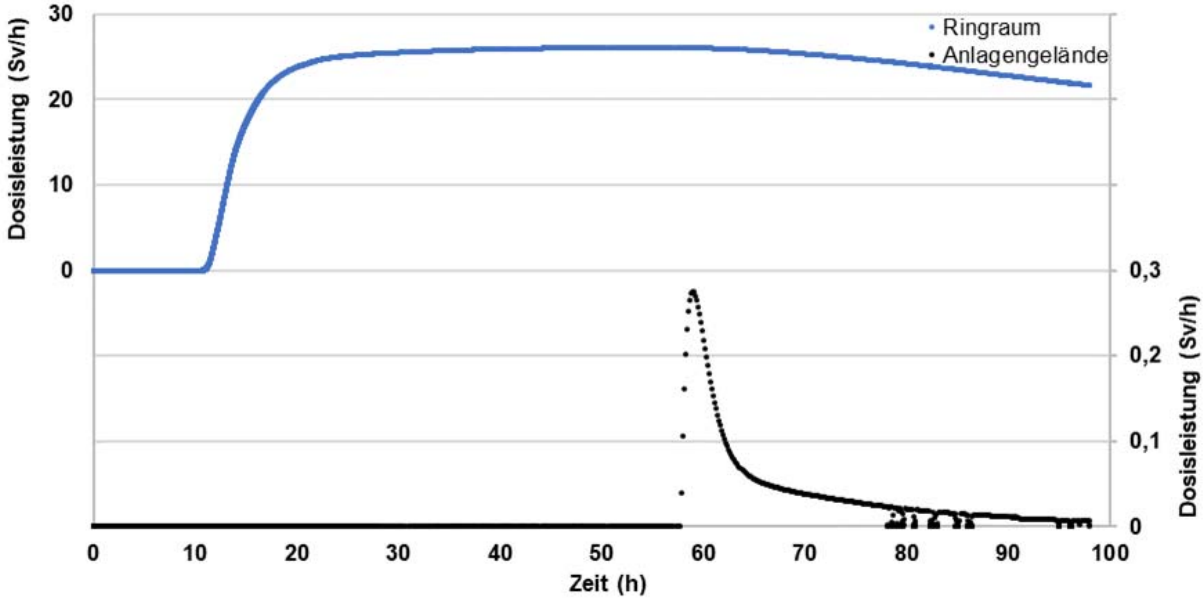


Abbildung 1: Zeitlicher Verlauf der Dosisleistung durch Gamma-Strahlung aus der umgebenden Luft im Ringraum und auf dem Anlagengelände infolge eines Kernschmelzunfalls mit gefilterter Druckentlastung des Sicherheitsbehälters (10 cm^2 Leck im heißen Strang mit Ausfall der Dampferzeuger-Wärmeabfuhr)

5.3 WISSENSCHAFTLICHE BASIS ZUR NUTZUNG KOMBINIERTER RADIOLOGISCHER UND ANLAGENTECHNISCHER INFORMATIONEN FÜR DIE DIAGNOSE UND PROGNOSE DES UNFALLABLAUFS (AP 3, MODUL 2)

Im AP 3 wurden Konzepte für Analysemethoden, die kombinierte radiologische und anlagentechnische Informationen für die Diagnose und Prognose des Unfallablaufs im Notfallzentrum nutzen sollen, entwickelt. Dazu wurde eine durchgängige, matrixbasierte Systematik zur Verknüpfung und Bewertung von Messdaten, Berechnungsergebnissen und Annahmen entwickelt sowie ein Verfahren zur schnellen Berechnung von Einflussmatrizen zur Verknüpfung von Emissions- und Messdaten auf Grund von Ausbreitungsmodellen als Prototyp realisiert und getestet.

Das Konzept ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Es beruht im Kern auf einer Verknüpfung vorliegender radiologischer Informationen mit Erkenntnissen über den Zustand der potenziellen Emissionsquelle. Diese Verknüpfung umfasst notwendigerweise auch die Übertragungsmechanismen radioaktiver Stoffe von der Quelle zu den Orten festgestellter radioaktiver Auswirkungen. Die Zielsetzung besteht in der Entwicklung einer konzeptionellen Systematik zur Verknüpfung unterschiedlicher Informationen. Diese Systematik ist offen gestaltet für unterschiedliche Verfahren zur Berechnung und Modellierung der beteiligten Prozesse. Exemplarisch wird dieser Rahmen durch einfache Berechnungsverfahren ausgefüllt, die schnell, auf dezentralen EDV- Architekturen und mit geringem Datenbedarf anwendbar sind. Je nach Bedarf und Verfügbarkeit können diese im Anwendungsfall durch externe, komplexere Modelle ersetzt werden.

5.4 ENTWICKLUNG VON REFERENZSZENARIEN UND BERECHNUNGSMETHODEN FÜR DIE ERMITTLUNG NOTFALLSCHUTZRELEVANTER FREISETZUNGEN BEI RADIOLOGISCHEN NOTFÄLLEN (AP 4, MODUL 3)

Im AP 4 wurde ein umfangreiches Kompendium von bisher bei der GRS erfolgten Freisetzungsanalysen für radiologische Notfälle erstellt und ein szenarienbasierter Vergleich des Informationsbedarfs bei radiologischen Notfällen mit den bei der GRS verfügbaren Informationen und Werkzeugen durchgeführt. Auf dieser Basis wurde eine Systematik zum Abgleich benötigter und verfügbarer Informationen für alle Referenzszenarien erstellt und inhaltlich ausgefüllt. Zudem wurden verfügbare Analysewerkzeuge zur Ermittlung von Freisetzungen bei Unfällen und terroristisch motivierten Handlungen ausgebaut. Komplementär zum im AP 3 verfolgten Ansatz wurde die matrixbasierte Systematik zum Abgleich benötigter und verfügbarer Informationen

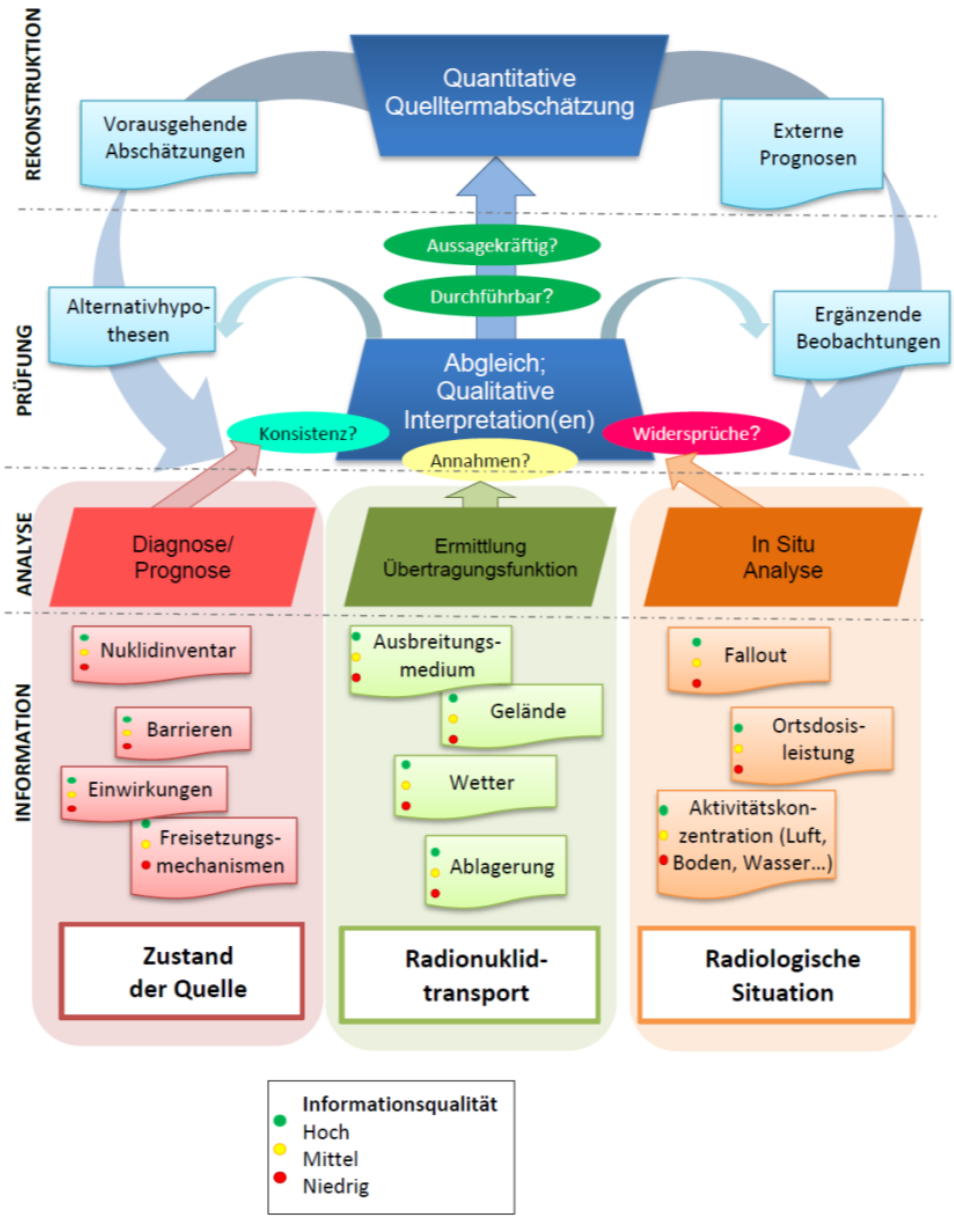


Abbildung 2: Schematischer Ablauf zur Verknüpfung technischer und radiologischer Informationen für die Quelltermabschätzung

für die im AP 4 einschlägigen Referenzszenarien ausgearbeitet. Dazu wurde ein detailliertes Bewertungsverfahren qualitativer Aussagen erstellt. Eine DV-technische Umsetzung wurde als Prototyp realisiert.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Wissensbasis und die erarbeiteten Verfahren werden durch das Team Strahlenschutz für seine Arbeit im Notfallzentrum der GRS sowie für Ausbildungszwecke im Bereich Notfallschutz genutzt.

Thema Umsetzung von Informationsstrategien und Konzepten in konkrete Handlungsempfehlungen und Informationsangebote unter Berücksichtigung moderner internetbasierter Kommunikationsformen **Subject** *Conversion of information strategies and concepts into concrete recommendations for action and information offerings, taking into account modern internet-based forms of communication*			
Kennzeichen 3617S62555	**Beginn** 01.06.2017	**Ende** 31.05.2019	**Fördermittel** EUR 204.978,-
Forschungs- / Auftragnehmer Stiftung Risiko-Dialog, Winterthur, Schweiz Universität Leipzig, Institut für Kommunikations- und Medienwissenschaft, Leipzig			
Projektleitung M. Holenstein	**Fachbetreuung BfS** Dr. C. Fehn / RN 1	**verantwortlich für den Text** Dr. R. Högg	

1. ZIELSETZUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) entwickelt im Rahmen des im Aufbau befindlichen radiologischen Lagezentrums (RLZ) ein Kommunikationskonzept. Das vorliegende Projekt hat dabei gezielt unterstützt, indem es das existierende Wissen aggregierte (AP 1), die unterschiedlichen Zielgruppen identifizierte und analysierte (AP 2), konkrete Kommunikationsszenarien differenzierte (AP 3) und - mit einem Fokus auf digitale Kommunikation - untersuchte, welche Kanäle sich für die spezifischen Ziele eignen (AP 4). Resultat des Projekts sind konkrete Handlungsempfehlungen zu Händen des BfS, die auch im Rahmen von Workshops vermittelt und interaktiv weiterentwickelt wurden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt war aufgeteilt in vier Arbeitspakete (AP) mit konkreten Einzelzielsetzungen.

2.1 AKTUELLER WISSENSSTAND (AP 1)

Ziel von AP 1 war es, den aktuellen, relevanten Stand von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens aufzuarbeiten.

Entsprechend der Ausschreibung waren zentrale Leitfragen für AP 1:

- Welche Untersuchungen befassen sich bereits mit Risiko- und Krisenkommunikation im radiologischen und nuklearen Notfallschutz? Zu welchen Erkenntnissen kommen sie?
- Welche Untersuchungen befassen sich bereits mit Risiko- und Krisenkommunikation in angrenzenden Bereichen des Notfallschutzes (z. B. Naturgefahren)?
- Welche konkreten Empfehlungen werden gegeben (in Bezug auf Zielgruppen, Botschaften, Kommunikationskanäle, etc.)?

2.2 ZIELGRUPPENANALYSE UND SZENARIENANALYSE (AP 2 UND AP 3)

Im Rahmen der im Projektverlauf durchgeführten Arbeiten wie auch beim gemeinsamen Workshop mit den Auftraggebern stellte sich heraus, dass es inhaltlich sinnvoll war, die beiden ursprünglich voneinander unabhängigen Arbeitspakete AP 2 und AP 3 zusammen zu bearbeiten.

Gemäß Projektausschreibung war es das Ziel von AP 2, die Kommunikationszielgruppen des RLZ zu differenzieren sowie deren Kommunikations- und Informationsbedürfnisse im Falle eines radiologischen oder nuklearen Notfalls zu erheben. Ziel von AP 3 wiederum war es, die Erkenntnisse aus AP2 anzuwenden, um die vom BfS erstellten zehn Szenarien zu analysieren.

2.3 BEWERTUNG DIGITALER INFORMATIONSKANÄLE (AP 4)

Das Arbeitspaket 4 stellte den Abschluss des Projektes dar. Es erweiterte das Projekt, das bis zu diesem Punkt das Augenmerk vor allem auf eine klassische Kommunikationswelt legte. Das Ziel des AP 4 war es, die

Potenziale digitaler Informationskanäle für die Risiko- und Krisenkommunikation des RLZ in den relevanten Kommunikationsszenarien kritisch zu würdigen (Websites, Apps, Social Media Profile/Seiten, etc.). Dabei sollten einerseits die heute bereits genutzten digitalen Kommunikationsangebote des BfS evaluiert sowie potenzielle weitere Kanäle und Instrumente abgewogen werden. Darüber hinaus wurden Practice-Beispiele für als tauglich evaluierte digitale Informationskanäle identifiziert.

3. METHODIK

3.1 AKTUELLER WISSENSSTAND (AP 1)

Das Projektteam basierte seine Arbeiten neben Desk- und Onlinerecherche auch auf dem Fachwissen und den Erfahrungen nationaler und internationaler Expert*innen. Das Wissen dieser Personen wurde im Rahmen von selektiven Expert*inneninterviews in die Recherche integriert.

Es wurden drei Typen von Quellen genutzt. Typ I umfasst publizierte Literatur, welche die Grundlagen zur Kommunikation in Krisensituationen allgemein liefert. Typ II hat einen stärker praxisorientierten Ansatz und umfasst (graue) Literatur, die sich konkret mit dem Thema der Krisenkommunikation bei radiologischen Ereignissen befasst. Dabei konnte auf die vielfältigen Vorarbeiten u. a. von BfS und BMI [1)]zurückgegriffen werden. Verschiedene (teilweise interne) Dokumente des BfS wurden im vorliegenden Bericht mitreflektiert und sind in das Resultat eingeflossen. Die Expert*inneninterviews schließlich (Typ III) sollten die in Typ I und Typ II gesammelten Informationen verifizieren und ggf. ergänzen.

3.2 ZIELGRUPPENANALYSE (AP 2)

Für die Erarbeitung der Resultate von AP 2 wurden Leitfadeninterviews, ein Expert*innenworkshop sowie eine Delphi-Befragung durchgeführt. Es wurde ein qualitatives Vorgehen gewählt, um die Offenheit des Forschungsprozesses zu gewährleisten. So konnte im Laufe der Erhebung das anfängliche Zielgruppenschema überprüft und erweitert werden, wenn sich im Gespräch mit den Interviewpartner*innen weitere bedeutsame Zielgruppen offenbarten, die zu Beginn der Untersuchung noch keine Berücksichtigung fanden. Ebenso konnten Modifikationen am Erhebungsinstrument vorgenommen werden (z. B. Ergänzung oder Abwandlung von Interviewfragen), sofern es das Erkenntnisinteresse verlangte. Mit Hilfe des qualitativen Zugangs konnten die Informations- und Kommunikationsbedürfnisse der einzelnen Zielgruppen, zu denen bislang wenig Erfahrungswerte existieren, mit Hilfe offener Fragen vertieft untersucht und subjektive Sichtweisen der Interviewpartner*innen herausgearbeitet werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Aussagen aus den qualitativen Interviews keine Repräsentativität beanspruchen. Die Befragung mehrerer Vertreter*innen pro Zielgruppe und die Koppelung der Leitfadeninterviews an eine Delphi-Befragung ermöglichten jedoch die Validierung der Interviewergebnisse.

3.3 SZENARIENANALYSE (AP 3)

Bei der Szenarienbeschreibung in AP 3 wurde der Fokus zudem über die ursprüngliche Ausschreibung hinaus erweitert. So wurden die Szenarien in „Ereignisphasen“ unterteilt beleuchtet und zusätzlich ein Überblick über die „Akteurslandschaft“ erstellt. Im Ereignisfall ist davon auszugehen, dass neben dem Radiologischen Lagezentrum (RLZ) auch andere Akteure kommunizieren werden. Sie alle haben ihre eigenen Hintergründe, Ziele und Möglichkeiten. Um einen besseren Überblick zu erhalten und Redundanzen möglichst zu vermeiden, wurden die Szenarien zudem in vier Typen eingeteilt, für welche zusammenfassende Empfehlungen abgegeben wurden.

3.4 BEWERTUNG DIGITALER INFORMATIONSKANÄLE (AP 4)

Auf Grund der Ergebnisse in AP 2 wurden die zu analysierenden digitalen Informationskanäle u. a. danach ausgewählt, wie verbreitet sie unter den deutschen Bürger*innen sind. In Absprache mit dem BfS wurden die folgenden sieben Informationskanäle für die Analyse ausgewählt: mobile Apps, Webseiten, Weblogs, Facebook, Twitter, YouTube und Instragram.

Zur Bewertung der Kanäle wurde ein Bewertungskatalog mit zugehörigen Skalen entwickelt. Die Kriterien, aus denen sich der erstellte Bewertungskatalog zusammensetzt, mithilfe dessen die digitalen Informationskanäle evaluiert werden, stammen aus den folgenden Quellen: Forschungsliteratur zur digitalen Risiko-/Krisenkom-

[1)] Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat

munikation, Bedürfnisprofile aus der Zielgruppenanalyse (AP 2), Szenarienanalyse (AP 3) und sogenannte „graue Literatur“ (z. B. IAEA 2016).

Der Bewertungskatalog wurde gemeinsam mit Prof. Dr. Cornelia Wolf, Lehrstuhlinhaberin für Online-Kommunikation an der Universität Leipzig, abgestimmt und überarbeitet.

Für die Identifizierung von Best Pratices wurde nach einem Desk Research pro Kanal 4-5 Best Practices selektiert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AKTUELLER WISSENSSTAND (AP 1)

Im Rahmen der systematischen Literaturrecherche (Schwergewicht Typ I und teilweise II) wurde in einschlägigen, interdisziplinären Literaturdatenbanken (u. a. EBSCO und Web of Science) eine Schlagwortsuche durchgeführt, die unter anderem auf den Schlagworten „Krisenkommunikation“, „Risikokommunikation“ und „Strahlen“ / „Strahlung“, „radiologisch“ (und englische Äquivalente) basierte. Die so identifizierte Literatur wurde gesichtet und nach thematischer Relevanz selektiert. Etwa 35 ausgewählte Studien flossen dabei in die Erarbeitung des vorliegenden Berichts ein. Neben der systematischen Recherche wissenschaftlicher Literatur wurde durch weitere Datenbankabfragen sowie Online-Suchen diverse Studien, Positionspapiere oder Leitfäden im Bereich der grauen Literatur identifiziert und verarbeitet.

Im Rahmen von AP 1 wurden fünf internationale Expert*innen einzeln im Rahmen eines leitfadengeführten Gesprächs befragt.

Die Interviews wurden anhand eines Gesprächsleitfadens geführt und stichwortartig festgehalten. Ein vollständiges Transkript der Gespräche wurde nicht erstellt. Die zentralen Aussagen aus den Gesprächen wurden in die Berichterstattung AP 1 integriert

4.2 ZIELGRUPPENANALYSE (AP 2) / SZENARIENANALYSE (AP 3)

Die Durchführung von AP 2 und AP 3 umfasste die folgenden Elemente.

4.2.1 Leitfadeninterviews

Neben Repräsentant*innen von 19 Zielgruppen wurden Interviews mit Vertreter*innen von Katastrophenschutzbehörden und Kernkraftwerksbetreibern geführt. Dies hatte den Zweck, die Informations- und Kommunikationsbedürfnisse der deutschen Gesamtbevölkerung im Überblick wie auch differenziert zu beleuchten. Katastrophenschutzbehörden und Kernkraftwerksbetreiber stellen keine direkten Zielgruppen für die Kommunikation im Ereignisfall dar. Sie besitzen jedoch hohes Fachwissen in Bezug auf die Krisenkommunikation mit der deutschen Bevölkerung, das u. a. zur Ermittlung weiterer bedeutender Zielgruppen dienen konnte. Die Ergebnisse aus diesen Interviews flossen in die Darstellung der Resultate zu den regulär Betroffenen ein.

Die Interviewanfragen wurden per E-Mail an die Zielgruppenrepräsentant*innen versendet. Die Kontaktvermittlung erfolgte in vielen Fällen über die Pressestelle der jeweiligen Organisation. Auf unbeantwortet gebliebene Anfragen wurde in Nachfassaktionen mit Remindern reagiert. Die Interviewphase lief vom 06.04.2018 bis zum 28.08.2018. Im Ganzen wurden 222 Interviewanfragen versendet, wovon 56 Interviews zustande kamen.

4.2.2 Expert*innenworkshop

Am 7. und 8. Juni 2018 wurde ein interdisziplinärer Expert*innenworkshop veranstaltet. Veranstaltungsort war die Dienststelle des Bundesamts für Strahlenschutz in Neuherberg. Neben der Präsentation der vorläufigen Resultate aus den Interviews bis zum 24.05.2018, die mit den Zielgruppen zu deren Informations- und Kommunikationsbedürfnissen in radiologischen Lagen geführt wurden, wurden die Ergebnisse ausführlich im Plenum und in Kleingruppen diskutiert, um Wissen und Erfahrung der teilnehmenden Expert*innen zu integrieren. Darüber hinaus diente der zweitätige Workshop dazu, gemeinsam Anknüpfungspunkte für die zukünftige Krisenkommunikation zu identifizieren. An der Veranstaltung nahmen neben zahlreichen Vertreter*innen des Bundesamts für Strahlenschutz und dem Projektteam auch externe Vertreter*innen teil (insgesamt, neben dem Projektteam, 24 Teilnehmer*innen).

4.2.3 Delphi-Befragung

Mit dem Ziel, zentrale Ergebnisse aus den qualitativen Interviews zu validieren und bestehende Unklarheiten und Widersprüche, die sich aus den Interviews ergeben hatten, zu beheben, wurde vom 12.11.2018 bis zum

18.11.2018 eine Delphi-Befragung durchgeführt. In Form einer Online-Befragung wurden mehrere Expert*innen aus der Krisenkommunikation bzw. dem Strahlenschutz mit 18 Thesen zur Risiko- und Krisenkommunikation in radiologischen Notfällen konfrontiert. Diese Thesen wurden aus den Resultaten der Leitfadeninterviews abgeleitet und um weitere Vorschläge durch das Bundesamt für Strahlenschutz ergänzt. Der Link zur Online-Befragung wurde via E-Mail an die potentiellen Interviewpartner*innen versendet. Im Fragebogen sollten die Expert*innen ihre Zustimmung bzw. Ablehnung zu den einzelnen Thesen auf einer fünfstufigen Skala angeben und ihre Antwort gegebenenfalls in einem offenen Antwortfeld begründen. Insgesamt beantworteten zehn Expert*innen die Online-Befragung.

4.2.4 Schriftliche Befragung BfS

Um Kommunikationsakteur*innen sowie die Ereignisphasen für alle Szenarien spezifisch beschreiben zu können, wurde ein auf Literatur basierendes Analyseraster entwickelt. Dieses wurde mit Mitarbeitenden des BfS im Rahmen einer gemeinsamen Sitzung besprochen und anschließend von 7 Expert*innen des BfS schriftlich ausgefüllt.

4.3 BEWERTUNG DIGITALER INFORMATIONSKANÄLE (AP 4)

Im abschließenden Arbeitspaket 4 wurden die Potentiale digitaler Informationskanäle für die Risiko- und Krisenkommunikation des BfS beurteilt. Für die Analyse wurden sieben digitale Kanäle mit hoher Bekanntheit in der deutschen Bevölkerung berücksichtigt: mobile Apps, Webseiten, Weblogs, Facebook, Twitter, YouTube und Instagram.

Die Analyse umfasste einen Bewertungskatalog mit den Aspekten:

- Inhalte und Gestaltung
- Interaktion
- Nutzergruppe
- Technik
- Kosten,

denen jeweils mehrere Bewertungsdimensionen zugeordnet waren (z. B. für die Kategorie ‚Interaktion': Direktionalität, Partizipation, Vertiefung, Integration).

Mittels dieses Bewertungskatalogs wurden pro digitalem Kanal vier bis fünf in- und ausländische Best-Practices der digitalen Krisenkommunikation identifiziert und evaluiert. Dabei wurden die unterschiedlichen Stärken und Schwächen der einzelnen Online-Kanäle festgehalten. Darüber hinaus wurde der Bewertungskatalog dafür genutzt, auch die heute bereits eingesetzten digitalen Kommunikationsangebote des Bundesamtes für Strahlenschutz, des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) sowie des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) zu bewerten.

5. ERGEBNISSE

5.1 AKTUELLER WISSENSSTAND (AP 1)

Das Literaturstudium wie auch die Expert*inneninterviews in AP 1 haben gezeigt, dass weitestgehend Konsens darüber herrscht, wie „gute Kommunikation“ im radiologischen und nuklearen Notfallschutz konzeptionell zu gestalten ist. Weder die Literatur noch die Expert*innen haben sich grundsätzlich widersprochen. Das bedeutet aber nicht, dass die optimale konkrete Umsetzung in jedem Fall offensichtlich oder gar einfach ist. Zudem verändert sich das kommunikative und mediale Umfeld fortlaufend - und das auch noch rasend schnell.

Resultat von AP 1 ist eine Übersicht über das in der Theorie, respektive bei Expert*innen und Praktiker*innen verfügbare Wissen. Die Vertiefung und Weiterentwicklung einzelner Themen findet in späteren Arbeitspaketen statt. AP 1 diente damit auch der Wissensvermittlung an Personen, welche nicht täglich im Fachgebiet arbeiten.

5.2 ZIELGRUPPENANALYSE UND SZENARIENANALYSE (AP 2 UND AP 3)

Die Ziele der beiden Arbeitspakete AP 2 und AP 3 konnten erfolgreich erreicht werden. Basierend auf einer Zielgruppenanalyse, der Erstellung einer Akteurslandschaft sowie der Beschreibung der Ereignisphasen

konnten sowohl für Szenariotypen wie auch Zielgruppen konkrete, umfangreiche Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, die Teil des Abschlussberichtes sind.

5.3 BEWERTUNG DIGITALER INFORMATIONSKANÄLE (AP 4)

Die Resultate aus Arbeitspaket 4 beziehen sich auf die vorangegangenen Arbeitspakete, so dass die Passung der digitalen Kanäle auch im Kontext der Zielgruppenbedürfnisse sowie der untersuchten Kommunikationsszenarien erfasst werden. Hier wird u. a. festgehalten, dass Facebook und Twitter besonders dazu geeignet sind, Laien bezüglich des Strahlenschutzes im Krisenfall zu informieren, weil diese Kanäle u. a. sehr benutzerfreundlich und technisch flexibel sind, Visualisierungen begünstigen und zu einer dialogischen Kommunikation befähigen.

Zudem zeigt sich beispielsweise, dass für den Fall eines Ereignisses mit potenziell akuter Gesundheitsgefahr für die Menschen in Deutschland, insbesondere mobile Apps für die Krisenkommunikation geeignet sind, da sie die meisten der für diese Szenariotypen relevanten Kriterien erfüllen (z. B. Standortbezogenheit, Erreichbarkeit, Aktualität, Kontrolle).

Die Gesamtbetrachtung der untersuchten digitalen Informationskanäle zeigte, dass insbesondere Facebook, Twitter und mobile Apps den Anforderungen des aufgestellten Bewertungskataloges am besten nachkommen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

"Know your audience" ist einer der wichtigsten Grundsätze der Krisenkommunikation, darüber sind sich international Wissenschaft und Kommunikationsexpert*innen einig. Nur wer die Zielgruppen und deren Bedürfnisse kennt, kann in der Krise erfolgreich kommunizieren und so gesundheitliche und psychosoziale Folgen eines radiologischen Notfalls mindern.

Das Strahlenschutzgesetzt sieht nach §105 und §112 die Information der Bevölkerung über Schutzmaßnahmen und Empfehlungen für das Verhalten bei möglichen Notfällen bzw. bei Notfällen vor.

Eine Bestimmung und Beschreibung von Zielgruppen in der Krisenkommunikation fehlte jedoch bisher in der internationalen Literatur zur Krisenkommunikation. Das Forschungsvorhaben leistet daher hier einen wichtigen Beitrag für die konkrete Vorbereitung der Kommunikationsinhalte durch BMU und BfS im Rahmen des Radiologischen Lagezentrums des Bundes (RLZ).

Thema Abschätzungen möglicher Freisetzungen radioaktiver Stoffe auf dem Wasserpfad bei KKW-Störfällen			
Subject *Estimation of possible releases of radioactive material on water paths during NPP-accidents*			
Kennzeichen 3617S62564	**Beginn** 19.03.2018	**Ende** 14.11.2019	**Fördermittel** EUR 187.179,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH, Köln			
Projektleitung Dr. M. Hage	**Fachbetreuung BfS** N. Zander / RN 2	**verantwortlich für den Text** Dr. M. Hage	

1. ZIELSETZUNG

Im Falle einer Krisensituation in einer kerntechnischen Anlage mit zu besorgenden Informationen zur möglichen Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung sind zuverlässige Lagebewertungen für die Auswahl und Einleitung effektiver Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung ausschlaggebend. Ein wesentlicher Teil einer derartigen Lagebewertung ist die Prognose der aus der kerntechnischen Anlage zu erwartenden Radionuklidfreisetzungen in die Umgebung, die auf verschiedenen Wegen (Luft- oder Wasserpfad) erfolgen können. Bisher wurden vorzugsweise zu erwartende Freisetzungen luftgetragener Radionuklide betrachtet.

2. EINZELZIELSETZUNG

Ziele waren sowohl die Ermittlung möglicher Szenarien bzw. Freisetzungspfade für den Transport radioaktiver Stoffe auf dem Wasserpfad als auch zusätzlich die Prüfung von Freisetzungsszenarien auf deren Verwendbarkeit für die Notfallplanung des Bundes unter beispielhafter Verwendung des „Fukushima-Quellterms“.

3. METHODIK

3.1 ERMITTLUNG MÖGLICHER SZENARIEN BZW. FREISETZUNGSPFADE FÜR DEN TRANSPORT RADIOAKTIVER STOFFE AUF DEM WASSERPFAD

Erkenntnisse im Rahmen der Sicherheitsforschung zu schweren Störfällen wurden als Grundlage genutzt, um in diesem Vorhaben mögliche Freisetzungen radioaktiver Stoffe auf dem Wasserpfad bei schweren Störfällen aus Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktor (DWR) zu analysieren und quantitativ abzuschätzen. Es wurden zunächst die möglichen Szenarien identifiziert, die das Potential besitzen, Radionuklide aus einem Kernkraftwerk mit DWR über den Wasserpfad in die Umgebung sowie in angrenzende Gewässer einzutragen und diese im Anschluss analysiert.

3.2 PRÜFUNG VON FREISETUNGSSZENARIEN AUF DEREN VERWENDBARKEIT FÜR DIE NOTFALLPLANUNG DES BUNDES UNTER BEISPIELHAFTER VERWENDUNG DES „FUKUSHIMA-QUELLTERMS“

Die Berücksichtigung von unfallbedingten Freisetzungen auf dem Wasserpfad hat insbesondere für folgende Anwendungsbereiche der Besonderen Notfallpläne des Bundes nach § 99 StrlSchG unmittelbare Bedeutung:

- Trinkwassergewinnung und -versorgung
- kontaminierte Gebiete, insbesondere kontaminierte Grundstücke und Gewässer.

Zur Prüfung der Verwendung der Analyseergebnisse für die Besonderen Notfallpläne des Bundes war es vorgesehen, die bereits berücksichtigten Referenzszenarien für Kernkraftwerksunfälle in Bezug auf ihren Erweiterungsbedarf für Freisetzungen auf dem Wasserpfad zu analysieren. Da die im Vorhaben diskutierten Freisetzungsszenarien als praktisch ausgeschlossen angesehen werden können, wurde im Folgenden zur beispielhaften Prüfung von Freisetzungsszenarien auf eine mögliche Verwendbarkeit für die Notfallplanung der sog. „Fukushima-Quellterm“ herangezogen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERMITTLUNG MÖGLICHER SZENARIEN BZW. FREISETZUNGSPFADE FÜR DEN TRANSPORT RADIOAKTIVER STOFFE AUF DEM WASSERPFAD

Es wurde eine genaue Betrachtung möglicher Freisetzungspfade für radioaktiv belastetes Wasser bei Unfällen in Kombination mit für eine Freisetzung erforderlichen oder zu unterstellenden Anlagenschäden durchgeführt. Dazu wurden Ergebnisse vorliegender Analysen zu schweren Störfällen ausgewertet. Für Freisetzungen radioaktiver Stoffe auf dem Wasserpfad und ggf. den Eintrag von Radionukliden in das Grundwasser wurden Abschätzungen je nach zugrunde liegendem Szenario angestellt.

Unter anderem wurden die folgenden Szenarien betrachtet:

- Freisetzungen von kontaminierten Wässern durch Leitungsbruch oder Leck im RR[1)]
- Freisetzungen von kontaminierten Wässern durch Durchschmelzen des SHB[2)]
- Freisetzungen von kontaminierten Wässern aus dem Ventingsystem
- Freisetzungen von kontaminierten Wässern über die FD[3)]-Armaturen
- Freisetzungen von kontaminierten Wässern über Lecks im Zwischen- und Nachkühlsystem.

4.2 PRÜFUNG VON FREISETZUNGSSZENARIEN AUF DEREN VERWENDBARKEIT FÜR DIE NOTFALLPLANUNG DES BUNDES UNTER BEISPIELHAFTER VERWENDUNG DES „FUKUSHIMA-QUELLTERMS“

Im Rahmen der Arbeiten wurden Informationen zu Freisetzungen auf dem Wasserpfad während des Unfalls im KKW[4)] Fukushima Daiichi ermittelt. Anhand dessen wurden drei Freisetzungsszenarien identifiziert und auf ihre voraussichtliche radiologische Relevanz hin gewichtet. Dazu wurden mögliche Nuklidkonzentrationen an der Übertrittstelle in Oberflächengewässer mit verfügbaren abgeleiteten Richtwerten für die zulässige Nuklidkonzentration in Trinkwasser, für den Aufenthalt in Gewässern und die Verwendung der Wässer in der Landwirtschaft verglichen.

Im zweiten Schritt wurde die Nuklidkonzentration, die unter der Annahme sofortiger Mischung bei einer vergleichbaren Freisetzung in die Flüsse an den deutschen Kraftwerksstandorten, die nahe der Einleitungsstelle auftreten können, ebenfalls mit den gleichen abgeleiteten Richtwerten verglichen.

5. ERGEBNISSE

Es wurden mögliche Szenarien zur Freisetzung radioaktiver Stoffe auf dem Wasserpfad (Eintrag ins Grundwasser bzw. einen Fluss) ermittelt, analysiert und im Hinblick auf eine Generierung von potentiell freisetzbaren Inventaren ausgewertet.

Eine Prüfung von Freisetzungsszenarien auf deren Verwendbarkeit für die Notfallplanung des Bundes unter beispielhafter Verwendung des „Fukushima Quellterms“ war ebenfalls Bestandteil dieser Arbeiten.

Die einzelnen Szenarienabläufe und damit die Freisetzung von Radionukliden beruhen auf Abschätzungen, die im Rahmen dieses Vorhabens hauptsächlich aus vorhandenen Unfallanalysen mit dem Integralcode MELCOR abgeleitet wurden. In einer eigens durchgeführten Testrechnung zeigte sich, dass das betrachtete Szenario „Durchschmelzen des Fundaments“ (eine Schmelze-Beton-Wechselwirkung zu einem späten Unfallablaufzeitpunkt, mit dem Potential, die Schmelze ins Erdreich gelangen zu lassen) praktisch ausgeschlossen werden kann. Auch die anderen in diesem Bericht betrachteten Szenarien mit potentiell freisetzbaren Inventaren auf einem Wasserpfad können v.a. auf Grund der Lage der kontaminierten Wässer innerhalb des Gebäudes und der einer Freisetzung entgegenwirkenden wannenförmigen Abdichtung der Anlagen bzw. der vorhandenen Dicken der Fundamente praktisch ausgeschlossen werden. Eine Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Freisetzungsszenarien war nicht Bestandteil dieser Studie.

1) Ringraum
2) Sicherheitsbehälter
3) Frischdampf
4) Kernkraftwerk

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die vom Auftragnehmer vorgelegten Analyseergebnisse sind für die gemäß dem Strahlenschutzgesetz geforderte behördliche Erarbeitung der Notfallpläne, insbesondere für den Sondernotfallplan Wasser, von großer Relevanz. Der Ausschluss möglicher signifikanter Freisetzungen auf dem Wasserpfad auf der Basis der dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden Untersuchungen stellt eine wichtige Erkenntnis für den radiologischen Notfallschutz dar. Die Bedeutung der installierten Überwachungs- und Meldesysteme für die Gewässer an den Standorten kerntechnischer Anlagen bleiben davon unberührt.

2.5 Themenbereich 07
Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

2.5 Subject area 07
Projects of general importance to radiation protection

Thema Entwicklung eines Dosimeters zur Messung der gesetzlichen Messgrößen Umgebungs-Äquivalentdosis H*(10) sowie Richtungs-Äquivalentdosis H'(0,07), insbesondere für eine Photonenenergie unterhalb von 30 keV **Subject** *Development and design of a dose meter resp. dose rate meter for dose-equivalent H*(10) and H'(0.07), in particular for photon energies less than 30 keV*			
Kennzeichen 3617S72384	**Beginn** 16.01.2018	**Ende** 30.06.2019	**Fördermittel** EUR 192.059,-
Forschungs- / Auftragnehmer GWT-TUD GmbH, Dresden			
Projektleitung Dr. J. Henninger	**Fachbetreuung BfS** L. Kammerer / MB 4	**verantwortlich für den Text** Dr. J. Henninger, L. Kammerer	

1. ZIELSETZUNG

Messgrößen für die Ortsdosis bzw. Ortsdosisleistung sind die Umgebungs-Äquivalentdosis H*(10) sowie die Richtungs-Äquivalentdosis H'(0,07) bzw. deren Leistung („gesetzliche Messgrößen“). Da im niedrigen Energiebereich unter 30 keV keine handhabbaren Messgeräte auf dem Markt verfügbar sind, die in den gesetzlichen Messgrößen messen und zugleich über eine Bauartzulassung bzw. Konformitätsbewertung nach dem Mess- und Eichrecht verfügen, sind Übergangslösungen zur Ermittlung von Ortsdosis und Ortsdosisleistung zugelassen. Im Rahmen des Forschungsvorhabens soll eine Verbesserung des Messgeräteangebots für spezielle, bisher nicht abgedeckte Bereiche herbeigeführt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens ist es, ein in den gesetzlichen Messgrößen H*(10) sowie H'(0,07) messendes Gerät für Photonenenergien von 15 keV bis 150 keV konformitätsbewertet nach den Anforderungen des Mess- und Eichrechts konzeptionell zu entwickeln. Im Anschluss ist ein in realen Strahlungsfeldern geprüfter Prototyp herzustellen.

2.1 ERMITTLUNG DER GESETZLICHEN ANFORDERUNGEN (AP 1)

Im AP 1 wurden die gesetzlichen Anforderungen an ein Ortsdosimeter und Ortsdosisleistungsmeter für die Messgrößen H*(10) sowie H'(0,07) für kontinuierliche und gepulste Felder zusammengestellt (Fehlertoleranz, Energie- und Winkelabhängigkeit, usw.).

2.2 KONZEPTION EINES GEEIGNETEN ORTSDOSISMESSGERÄTES (AP 2)

Im AP 2 wurde ein Konzept für ein Ortsdosis- und Ortsdosisleistungsmessgerät für die Messgrößen H*(10) sowie H'(0,07) entwickelt.

2.3 PRÜFUNG DES DOSIMETERPROTOTYPS IN REALEN STRAHLUNGSFELDERN (AP 3)

Im AP 3 wurde die Eignung des Prototyps zur Messung von H*(10) bzw. H'(0,07) in realen Strahlungsfeldern gemäß PTB-Anforderungen (PTB-A 23.3: „Ortsdosimeter zur Messung der Umgebungs- und Richtungs-Äquivalentdosis und der Umgebungs- und Richtungs-Äquivalentdosisleistung“) geprüft.

3. METHODIK

Für das AP 2 wurden Luminophore und Lichtdetektoren auf Basis von Photo-Sekundärelektronenvervielfachern bzw. Halbleiterkonzepte auf ihre Eignung zur Lösung der gestellten Aufgaben in Bezug auf Empfindlichkeit, Gewebeäquivalenz, Zeitverhalten und Verfügbarkeit hin untersucht, wobei die in AP 1 zusammengestellten Anforderungen, insbesondere die Kriterien der PTB-A 23.3 berücksichtigt wurden. Anhand der fundamentalen physikalischen Eigenschaften wurde BeO als am besten geeignetes Material ausgewählt. Als Mittel

der Lichdetektion fiel die Wahl auf Einzelphotonensensoren mit nachgeschalteter Auswerteelektronik auf FPGA[1)]-Basis. Das erarbeitete Detektorkonzept wird in Punkt 5 vorgestellt.

4. DURCHFÜHRUNG

Es wurden Testmessungen zur Bestimmung grundlegender dosimetrischer Parameter u.a. in einem Cs-137-Strahlungsfeld, einem Am-241-Strahlungsfeld sowie im Strahlungsfeld einer gepulsten Röntgeneinrichtung durchgeführt. Zunächst wurde das Ansprechvermögen der Radiolumineszenz von BeO untersucht, indem ein BeO-Chip (Abmessungen 4,7 mm x 4,7 mm x 0,5 mm) vor das Eintrittsfenster eines Einzelphotonensensors gebracht wurde. Die Testmessungen bestätigten die Eignung von BeO als Detektormaterial, zeigten aber auch die Notwendigkeit der Abschirmung der Photokathode des Einzelphotonensensors vom Primärstrahlungsfeld auf. Die Kalibrierung des Prototypen erfolgte in einem Am-241-Strahlungsfeld bei einer Dosisleistung von 86 µSv/h (H*(10)) bzw. 82 µSv/h (H'(0,07)).

5. ERGEBNISSE

Der vorgestellte Prototyp verfügt über zwei auswechselbare Sensorköpfe zur Messung der Umgebungs-Äquivalentdosis H*(10) sowie der Richtungs-Äquivalentdosis H'(0,07). Das strahlungssensitive Detektorelement BeO (Chip: 4,7 mm x 4,7 mm x 0,5 mm für H*(10), bzw. BeO-Dünnschichtelement: BeO-Granulat in Epoxidharz für H'(0,07)) ist jeweils über einen Quarzglasstab an einen Einzelphotonensensor gekoppelt. Das Ensemble ist zusätzlich durch einen Bleimantel gegen seitliche Bestrahlung des Lichtleiters und der Photokathode abgeschirmt und an der Front mit einem Eingangsfenster (7 mm PLA[2)] für H*(10) und 50 µm Makrofol[3)] für H'(0,07)) versehen. Die beim Lichtnachweis im Einzelphotonensensor generierten Spannungspulse werden mittels FPGA analysiert und liefern einen Wert für die Dosisleistungsanzeige auf dem LCD-Display bzw. per USB-Übertragung in der eigens entwickelten PC-Software. Der vorgestellte Prototyp ist durch eine integrierte Power Bank auch ohne externe Spannungsquelle einsetzbar.

Abbildung 1: Sensorkopf mit Quarzglaskopplung und BeO-Chip

1) Field Programmable Gate Array
2) ein Polyactid
3) ein Polycarbonat

Abbildung 2: Sensorkopf (H*(10)) mit Bleiummantelung und Eingangsfenster

Abbildung 3: Tragbarer Prototyp

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Der vorgestellte Prototyp bildet eine Grundlage für die benötigte, spezialisierte Messtechnik zur Bestimmung der Ortsdosis(-leistung) in niederenergetischen Photonenstrahlungsfeldern. Eine solche ist für die umfassende praktische Realisierung des Strahlenschutzes unter den genannten spezialisierten Bedingungen essenziell und führt zu einer verbesserten messtechnischen Erfassung und damit auch zu einer detaillierteren Sachkenntnis für konkrete Bestrahlungssituationen. Längerfristig kann dies in die Erarbeitung von Strahlenschutzvorschriften, -Verordnungen und -Empfehlungen einfließen.

Die Integration der beiden Sensorköpfe für H*(10) und H'(0,07) in einem kombinierten Messsystem würde die Anwenderfreundlichkeit des Systems weiter erhöhen. Eine zukünftige weitere Verkleinerung von Masse und Volumen des Gerätes würde ebenfalls einer besseren Handhabung zu Gute kommen. Auch wenn im vorliegenden Projekt die Konformitätsbewertung (Bauartzulassung) auf Grund des gegenwärtigen Entwicklungsstandes (Zeitgründe) und der fehlenden Projektmittel nicht vorgesehen war, sollten die Ergebnisse immer im Kontext dazu gewertet werden.

Thema Durchführung einer repräsentativen Erhebung im Jahr 2019 mit dem Titel "Was denkt Deutschland über Strahlung? Umfrage 2019" **Subject** *Realisation of a representative survey in 2019 entitled "What does Germany think about radiation? Survey 2019"*			
Kennzeichen 3619S72204	**Beginn** 01.06.2019	**Ende** 31.10.2019	**Fördermittel** EUR 66.878,-
Forschungs- / Auftragnehmer aproxima Gesellschaft für Markt- und Sozialforschung Weimar mbH, Weimar			
Projektleitung S. Götte	**Fachbetreuung BfS** C. Pölzl-Viol / St-RK	**verantwortlich für den Text** S. Götte	

1. ZIELSETZUNG

Ein zentraler Bestandteil des Strahlenschutzes ist die Information der Bevölkerung über Strahlenwirkungen und Strahlenrisiko sowie über das richtige Strahlenschutzverhalten. Als Basis für diese Aufgabe erhebt das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) seit vielen Jahren Informationen anhand von regelmäßigen sozialwissenschaftlichen Studien zum gesellschaftlichen und individuellen Umgang mit ausgewählten Strahlenthemen sowie zur Risiko- und Informationswahrnehmung.

Um aktuelle empirische Informationen über die gesellschaftliche Wahrnehmung von Strahlung und Strahlenschutzempfehlungen sowie der Gestaltung von Risikokommunikation bereitzustellen, wurde eine repräsentative Bevölkerungsbefragung zum Thema Strahlung durchgeführt.

Ziel dieser Befragung war es, die allgemeine gesellschaftliche Verankerung von Strahlung und Strahlenschutz, die Wahrnehmungen, Kenntnisse und Informationsbedürfnisse der Bevölkerung in Deutschland zu erheben.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zur Erreichung der Zielsetzungen wurden die folgenden 5 Forschungsfragen formuliert:

- Was wissen die Bürger*innen über Strahlung und Strahlungsarten?
- Wie ist die allgemeine Wahrnehmung von Strahlung?
- Wie sehr fühlen sich die Bürger*innen durch Strahlung beunruhigt?
- Welche Präventionsmaßnahmen kennen und nutzen sie?
- Welche Informationsdefizite bestehen?

Bei der Befragung wurden die folgenden Arten von Strahlung berücksichtigt:

- Niederfrequente elektromagnetische Felder (in den Ergebnissen als Strahlung bezeichnet)
- Hochfrequente elektromagnetische Felder (in den Ergebnisse als Strahlung bezeichnet)
- Ionisierende Strahlung
- UV-Strahlung

Außerdem war von Interesse, wie groß das Bedrohungsgefühl durch die Strahlungsarten ist und welche Verantwortlichkeiten und Maßnahmen bei der Prävention gesehen werden. Der Fragebogen enthielt entsprechend die folgenden Themenkomplexe:

- allgemeine Wahrnehmung von Strahlung
- konkrete Strahlungsarten
- Wissen über Strahlung und Strahlenschutz
- Vorsorgemaßnahmen

- Institutionen des Strahlenschutzes
- Persönlichkeitsmerkmale und Demographie

3. METHODIK

Die Bevölkerungsbefragung wurde als Telefonbefragung konzipiert und in einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe erhoben. Diese wurde über eine nach Region und Urbanitätsgrad geschichtete systematische Zufallsauswahl aus der ADM[1)]-Auswahlgrundlage („ADM-Stichprobe“) erstellt. Die „Dual Frame“-Methodik gewährleistete über eine Einbeziehung von Mobilfunknummern die breitestmögliche Ausschöpfung der Grundgesamtheit. Auf Basis der Haushalte erfolgte die Zufallsauswahl mittels der Last-Birthday-Methode. Der konzipierte Fragebogen hatte eine Durchschnittslänge von ca. 24 Minuten. Es wurden insgesamt N = 2 000 vollständige Interviews erhoben.

4. DURCHFÜHRUNG

Auf Basis von Vorschlägen des Bundesamtes für Strahlenschutz und eigener inhaltlicher Überlegungen wurde der Fragebogen für die Befragungen erstellt. Dieser wurde anschließend in einer kleinen Stichprobe von Interviews getestet und leicht überarbeitet. Das Ergebnis des Tests inklusive der Änderungsvorschläge wurden in einem Pretest-Bericht festgehalten.

Zwischen Juli und September 2019 fanden die telefonischen Interviews statt. Sie wurden im Telefonstudio von aproxima unter professioneller methodischer Betreuung und Kontrolle durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

Die 5 unter Punkt 2 formulierten Forschungsfragen ergaben die im Folgenden beschriebenen Erkenntnisse.

5.1 WAS WISSEN DIE BÜRGER*INNEN ÜBER STRAHLUNG UND STRAHLUNGSARTEN?

Das Wissen über Strahlungsquellen ist relativ gut. Von elf abgefragten Strahlungsquellen erkannten die meisten Befragten sieben bis neun. 29 % kennen weniger als die Hälfte. Zehn oder elf Quellen werden von 11 % der Befragten richtig erkannt.

Hochfrequente Felder sind die bekannteste Art von Strahlung. Unter den vier für diese Befragung ausgewählten Arten von Strahlung (siehe Einzelzielsetzung) war die bekannteste Strahlungsart die hochfrequente Strahlung, die nach eigenen Angaben 54 % der Befragten dem Namen nach und 20 % gut kennen. Dahinter liegt die niederfrequente Strahlung (48 % dem Namen nach, 13 % gut). Am wenigsten bekannt sind die Begriffe optische und ionisierende Strahlung. Beide sind gut 50 % der Befragten entweder gut oder dem Namen nach bekannt.

Hoch- und niederfrequente Felder sind nicht immer trennscharf. Bei der Frage nach konkreten Beispielen für die bekannten Strahlungsarten wurde jedoch deutlich, dass die Befragten vor allem hoch- und niederfrequente Strahlung nicht immer sauber voneinander trennen. Die Details sowie die Beispiele für alle Strahlungsarten finden sich im Bericht.

Wissensfragen offenbaren Defizite: Zu jeder Strahlungsart wurde mindestens eine Wissensfrage gestellt. Hier traten Defizite zutage. So nannten bei der Frage nach den beiden für den durchschnittlichen Menschen in Deutschland belastendsten Strahlungsquellen deutlich mehr Befragte Kernkraftwerke als das – zusammen mit medizinischen Untersuchungen – korrekte Radon. Die Frage zur optischen Strahlung nach sinnvollen UV-Schutz-Maßnahmen beim Sonnenbaden konnten die allermeisten Befragten korrekt beantworten. Jedoch erhielt dort auch die falsche Antwort "aus der Sonne gehen, wenn die Haut anfängt zu brennen" immerhin 47 % Zustimmung. Zur hochfrequenten Strahlung wurde gefragt, ob Mobilfunkmasten oder das eigene Handy/Smartphone die größte Strahlenbelastung verursachen. 57 % der Befragten entschieden sich hier korrekt für letzteres. Von 17 über alle Fragen erreichbaren Punkten wurden im Mittel 11 erzielt.

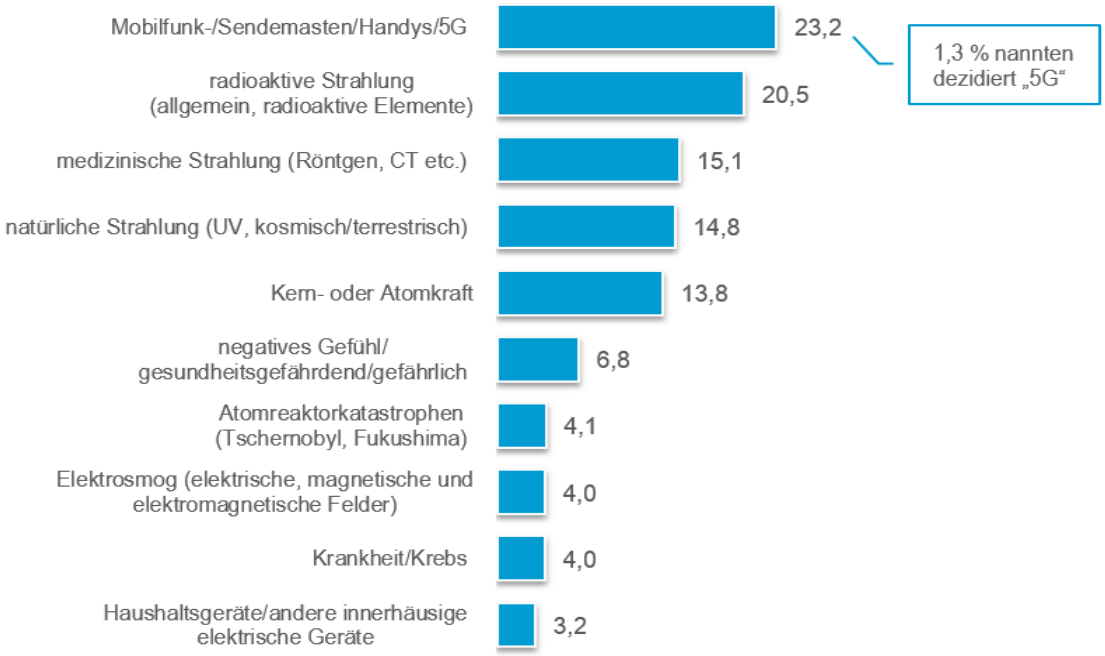
Befragte fühlen sich nicht ausreichend informiert. Fast die Hälfte der Befragten gibt an, sie sei durch die staatlichen Institutionen des Strahlenschutzes schlecht informiert, ein weiteres Viertel fühlt sich sogar sehr schlecht informiert. 21 % betrachten ihren Informationsstand als gut, nur 2 % als sehr gut. Diese Wahrneh-

[1)] Arbeitskreis Deutscher Markt- und Sozialforschungsinstitute e. V.

mung ist jedoch für Themen, die kaum den Alltag der Menschen berühren, typisch, wie ähnlich gelagerte Studien zeigen.

5.2 WIE IST DIE ALLGEMEINE WAHRNEHMUNG VON STRAHLUNG?

Strahlung resultiert vor allem aus radioaktiven Stoffen und elektromagnetischen Feldern. Nach ihrer spontanen Assoziation zum Begriff Strahlung gefragt, thematisierten die meisten Befragten den Themenkomplex „Radioaktivität, Kern- oder Atomkraft“. Jede*r dritte Befragte verbindet den Begriff Strahlung damit. An zweiter Stelle steht der Bereich der hochfrequenten elektromagnetischen Felder. Knapp jedem*jeder Vierten fiel etwas aus diesem Themenbereich als erstes ein. In etwa gleich häufig nannten die Befragten Begriffe aus den Bereichen Anwendungen ionisierender Strahlung in der Medizin und natürliche Strahlung (beides 15 %, siehe Abbildung 1).



Spontane Assoziationen zu dem Begriff „Strahlung“ (Top 10-Kategorien, in Prozent aller Befragten, N = 2 000, Kategorisierung einer offenen Frage, Mehrfachnennungen möglich)

Niederfrequente elektromagnetische Felder und „unverdächtige“ Dinge wie Baumaterial oder Leitungswasser sind am wenigsten bekannt. Wenn sie Strahlenquellen identifizieren sollen, sind praktisch allen Bürger*innen die Sonne als UV-Strahler und Smartphones/Handys mit ihren elektromagnetischen Feldern (beide 95 %) bekannt. Jeweils 84 % identifizieren kabellose Telefone und WLAN-Router als Strahlenquellen. Auch bei Stromleitungen (72 %), Flugreisen (65 %) und dem Erdboden/Untergrund (61 %) weiß die Mehrheit der Befragten, dass von ihnen Strahlung ausgeht. Weniger bekannt ist dies bei Baumaterial (36 %) und dem elektrischen Rasierapparat als einem Beispiel für ein Elektro-Kleingerät (32 %). Den wenigsten Personen ist bekannt, dass auch Leitungswasser Strahlung emittiert (13 %).

5.3 WIE SEHR FÜHLEN SICH DIE BÜRGER*INNEN DURCH STRAHLUNG BEUNRUHIGT?

Etwa ein Drittel verspürt Beunruhigung wegen einer Belastung durch die vorherrschende Strahlung. 31 % der Befragten denken eher oder voll und ganz, dass wir in Deutschland einer zu hohen Strahlenbelastung ausgesetzt sind. Ihnen stehen 34 % gegenüber, die das nicht denken, 28 % äußern sich neutral. Ähnlich ausgeglichen ist das Meinungsbild bei der Sorge vor allgegenwärtiger Strahlung. 35 % machen sich Sorgen darum, dass wir überall von Strahlung umgeben sind, 40 % tun dies nicht. Welche schädlichen Einflüsse diese Strahlung haben kann, darüber denken 22 % aller Befragten häufig oder eher häufig nach. 52 %, also die knappe absolute Mehrheit, tun dies nicht. Signifikante Unterschiede zwischen demographischen und thematischen Befragtengruppen sind im Bericht zu finden.

Die Strahlenbelastung ist aus Sicht der Befragten angestiegen. Nach der Entwicklung der Strahlenbelastung in den letzten Jahren in Deutschland gefragt, zeichnen die Befragten ein klares Bild: Etwa ein Drittel sagt,

die Belastung sei stark, ein weiteres Drittel sie sei etwas angestiegen. 16 % halten sie für konstant, nur 5 % meinen, sie sei gesunken.

Die eigene Strahlengefährdung wird im Vergleich etwas unterdurchschnittlich wahrgenommen. Für die Mehrheit der Befragten ist die Strahlengefährdung in ihrer eigenen Region ähnlich hoch wie in anderen Regionen Deutschlands (40 %). 28 % sehen ihre Region etwas weniger, 9 % viel weniger gefährdet. Lediglich 15 % halten die Gefahr für größer als in anderen Teilen des Landes.

Radioaktivität aus Kernkraftwerken beunruhigt die meisten Befragten. 53 % der Befragten beunruhigt diese sehr, weitere 21 % eher. Damit steht sie an vierter Stelle aller abgefragten "modernen Gesundheitssorgen" (siehe Abbildung 2).

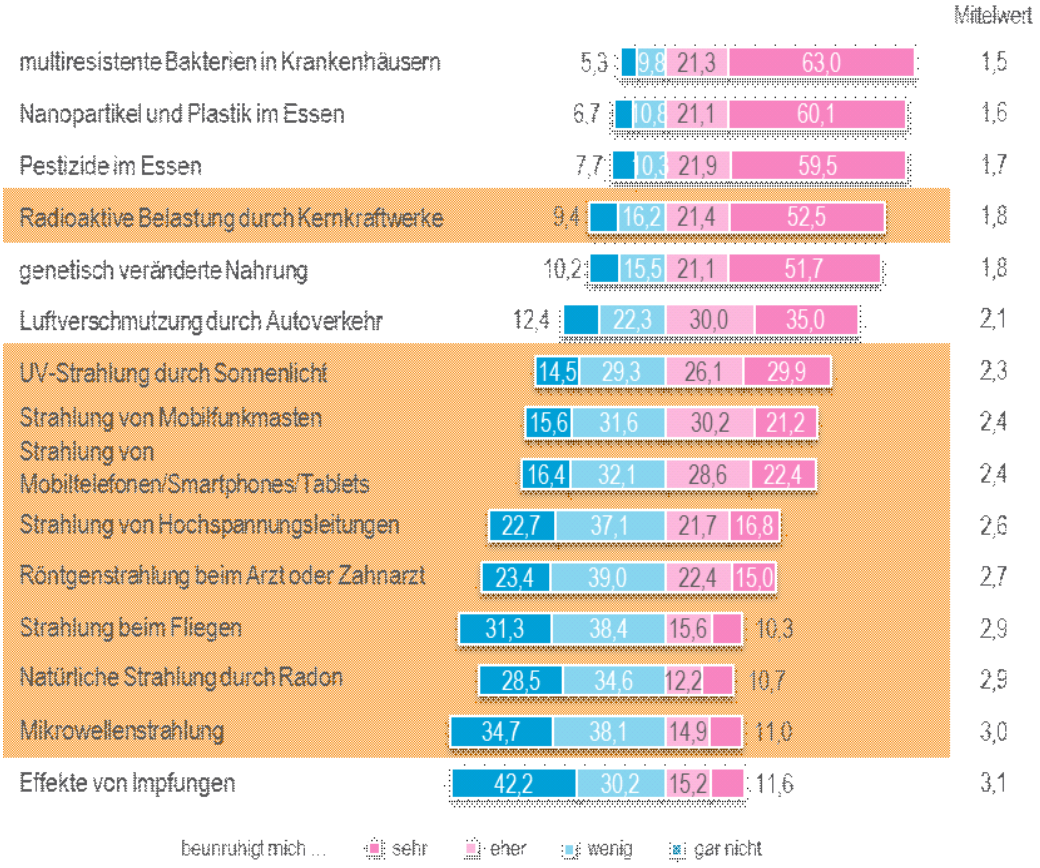


Abbildung 4: Moderne Gesundheitssorgen (jeweils in Prozent aller Befragten, N = 2 000, zu 100 fehlende Prozente sind „weiß nicht“ und „keine Angabe“, Mittelwerte von 1 = beunruhigt mich sehr bis 4 = beunruhigt mich gar nicht)

5.4 WELCHE PRÄVENTIONSMAßNAHMEN KENNEN UND NUTZEN SIE?

Eine geringe Mehrheit fühlt sich durch den Staat nicht geschützt. Nur 37 % der Befragten vertrauen nach eigenen Angaben darauf, dass die staatlichen Institutionen des Strahlenschutzes die Bevölkerung vor schädlichen Einflüssen durch Strahlung schützen. 21 % stimmen dieser Aussage überhaupt nicht zu, 19 % eher nicht.

Konkrete Anwendungsszenarien zeichnen ein positiveres Bild. Die Frage des Schutzgefühls in Bezug auf ganz konkrete Strahlenquellen zeichnet ein sehr viel positiveres Bild von staatlichen Schutzmaßnahmen. Am besten geschützt fühlen sich die Bürger*innen bei medizinischen Anwendungen (70 % gut oder sehr gut). Gut die Hälfte der Befragten ist auch mit dem Schutz vor elektromagnetischen Feldern bei Strommasten zufrieden. Am kritischsten sind sie erneut beim Thema Mobilfunkanlagen. Hier sehen sich nur 40 % gut oder sehr gut geschützt, 49 % hingegen nicht. Auch beim Thema Radon sind die zufriedenen Befragten leicht in der Unterzahl (30 zu 39 %). Hier ist außerdem die Besonderheit, dass 30 % auf die Frage nicht antworten konnten.

Auch der Vergleich zu Europa zeigt ein positiveres Bild. Im Vergleich zu anderen europäischen Ländern fühlen sich 45 % der Befragten in Deutschland viel oder etwas besser geschützt, 38 % beurteilen den Schutz als gleich gut. Nur 8 % sehen eine etwas oder viel schlechtere Situation als im Rest Europas.

Ein Viertel betreibt individuellen Strahlenschutz. Rund jede*r Vierte stimmt der Aussage eher oder voll und ganz zu, dass er*sie sich selbst vor schädlichen Einflüssen durch Strahlung schützt. 27 % tun dies überhaupt nicht, 17 % eher nicht.

Den häufigsten individuellen Schutz betreiben die Befragten nach eigenen Angaben bei der Mikrowellenstrahlung (21 %). Gegen die anderen Strahlenquellen haben nur wenige Bürger*innen bisher etwas getan. Vor Strahlung beim Fliegen schützten sich 10 %, vor Strahlung von Hochspannungsleitungen 6 %, vor solcher von Mobilfunkmasten 4 % und vor natürlicher Strahlung durch Radon 3 %.

Schutzmaßnahmen gegen UV-Strahlung sind ausgeprägt. Die allermeisten Befragten bejahten, dass sie Sonnenschutzcreme oder -spray auftragen sowie lange Aufenthalte in der Sonne vermeiden (beides 84 %). Drei Viertel tragen auch eine Sonnenbrille mit UV-Schutz. Weniger häufig greifen die Befragten auf lange Kleidung zurück (46 %).

Die häufigste Schutzmaßnahme gegen hochfrequente elektromagnetische Felder ist Abstand halten. Der am häufigsten angewendete Präventionshinweis, um den entstehenden hochfrequenten elektromagnetischen Feldern möglichst wenig ausgesetzt zu sein, ist, das Mobiltelefon nicht am Körper zu tragen. 47 % der Befragten beachten dies. 29 % geben an, möglichst nicht bei schlechtem Empfang zu telefonieren. Ein Viertel der Befragten gibt an, Mobiltelefone mit möglichst geringer Strahlung zu nutzen und 18 % nutzen ein Headset zum Telefonieren.

5.5 WELCHE INFORMATIONSDEFIZITE BESTEHEN?

Befragte fühlen sich eher schlecht informiert. Fast die Hälfte der Befragten gibt an, sie fühlen sich durch staatliche Institutionen des Strahlenschutzes schlecht informiert, ein weiteres Viertel sehr schlecht. 21 % betrachten ihren Informationsstand als gut, nur zwei % als sehr gut. Dies ist nicht ungewöhnlich für ein Thema, das eher am Rande des alltäglichen Lebens steht. Auch besteht Informationsaustausch aus Bring- und Holpflichten. Das bedeutet, es muss ein adäquates Informationsangebot bestehen – dieses muss von den Adressaten allerdings auch genutzt werden. Ist das nicht der Fall, so kann dies entweder daran liegen, dass der Wunsch nach Informationen nicht ausgeprägt genug ist, die Informationen nicht dem Informationsbedürfnis entsprechen oder nicht adäquat aufbereitet sind.

Alle abgefragten Themen sind für zwei Drittel aller Befragten praktisch gleich interessant. Mit relativ gleicher Häufigkeit wünschen sich die Befragten weitere Informationen zu individuellen Strahlenschutzmöglichkeiten, der Strahlenbelastung in Deutschland und der Region sowie Quellen riskanter Strahlung. Jeweils gut zwei Drittel der Befragten sind an diesen Themen (sehr) interessiert.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die gewonnenen Erkenntnisse dienen dem BfS und dem BMU als Grundlage für verschiedene Aktivitäten: Bei der Umsetzung des neuen Strahlenschutzgesetzes ist es wichtig, das gesellschaftliche Umfeld zu kennen, in dem sich das BfS mit seinen Themen und zum Teil neuen gesetzlichen Regelungen – wie z. B. im Bereich Radon - bewegt. Für die Facharbeit bietet die Erhebung eine gute Rückmeldung, wie fachliche Arbeit und abgeleitete Empfehlungen in der Öffentlichkeit wahrgenommen werden - und ob die Information über die fachliche Arbeit des BfS gegebenenfalls verändert werden müsste. Die Erkenntnisse sind eine wichtige Grundlage zur Gestaltung der Risikokommunikation. Zudem fließen die Informationen direkt in die Presse- und Öffentlichkeitsarbeit des BfS ein, indem wichtige Zielgruppen identifiziert werden und das BfS - und auch BMU - daraus seine zielgruppenspezifische Ansprache anpassen können. Da der Ergebnisbericht veröffentlicht wurde, können die Erkenntnisse auch von anderen Akteuren genutzt werden.

Thema Untersuchung der Möglichkeiten des Einsatzes von Nudging im Strahlenschutz am Beispiel UV-Schutz **Subject** *Investigation of the possibilities of using nudging in radiation protection by way of example of UV protection*			
Kennzeichen 3619S72403	**Beginn** 01.07.2019	**Ende** 31.12.2019	**Fördermittel** EUR 75.773,-
Forschungs- / Auftragnehmer ConPolicy GmbH, Berlin INNOKI Primavera & Partner Innovationsberatende PartG, Berlin			
Projektleitung Dr. S. E. Kettner	**Fachbetreuung BfS** Dr. C. Böhmert / St-RK	**verantwortlich für den Text** Dr. S. E. Kettner, M. Münsch, Prof. Dr. C. Thorun	

1. ZIELSETZUNG

UV-Strahlung ist der entscheidende, umweltbedingte Risikofaktor für die Entstehung von Hautkrebs – ein Krankheitsbild, das in Deutschland stark zugenommen hat. Interventionen, um Menschen zu einem besseren Schutzverhalten zu bewegen, haben sich in der Vergangenheit als begrenzt wirksam erwiesen. Seit einiger Zeit wird Nudging als ein neuartiger Ansatz der Politikgestaltung auch bezüglich der öffentlichen Gesundheit in Deutschland diskutiert. Das Konzept des Nudging basiert auf Erkenntnissen der Verhaltensökonomie und Psychologie und lässt sich mit „Anstupsen“ übersetzen. Interventionen, die den Nudge-Ansatz nutzen, gestalten Umgebungen, in denen Entscheidungen getroffen werden, gezielt, um Einfluss auf das Verhalten von Menschen zu nehmen, ohne dabei ökonomische Anreize zu setzen oder Entscheidungsoptionen zu verbieten. Im Bereich UV-Schutz gibt es unterschiedliche Ansätze zur Prävention, allerdings wurden Anwendungsmöglichkeiten von Nudging in diesem Bereich bisher noch nicht systematisch diskutiert. Die Studie zielte darauf ab, bestehende Ansätze von Nudging im UV-Schutz zu beleuchten, zehn konkrete Prototypen zur Förderung von UV-Schutz zu entwickeln und die gewonnenen Erkenntnisse auf ein weiteres Anwendungsfeld – den Radonschutz – zu übertragen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Studie wurde in drei Arbeitspaketen mit unterschiedlichen Teilzielen umgesetzt.

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN FORSCHUNGSSTANDS

Ziel dieses Arbeitsschritts war die Beurteilung des Status Quo der bereits empfohlenen Schutzmaßnahmen, die Identifizierung besonders schutzwürdiger Zielgruppen und die Einschätzung der Risikobewertung in den verschiedenen Zielgruppen. Zudem sollte ein systematischer Überblick über die Literatur im Bereich Nudging unter besonderer Berücksichtigung der Relevanz für den UV-Schutz erarbeitet werden.

2.2 KREATIVWORKSHOP MIT ZIELGRUPPEN

Ziel dieses Arbeitsschrittes war, gemeinsam mit Vertreterinnen und Vertretern aus prioritären Zielgruppen, nutzernahe Ideen für konkrete Situationen zu entwickeln, die den UV-Schutz fördern.

2.3 EXPERTENINTERVIEWS UND BEWERTUNG

Ziel der Experteninterviews war es, Rückmeldung zu entwickelten Maßnahmen zu erhalten, mögliche Verbesserungen aufzugreifen und die Maßnahmen hinsichtlich ihres Nutzens und ihrer Umsetzbarkeit zu beurteilen.

2.4 EXKURS AUF RADON

Ziel dieses Schrittes war es, die bisher erzielten Erkenntnisse zu Nudging und zu möglichen Lösungsansätzen auf ihre Übertragbarkeit auf den Bereich Radon zu prüfen und dabei mögliche Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede aufzudecken.

3. METHODIK

Methodisch basierte diese Studie erstens auf einer systematischen Literaturrecherche und -analyse in internationalen und nationalen Literatur- und Projektdatenbanken. Zweitens wurde der wissenschaftliche Forschungsstand aufgearbeitet und bestehende Ansätze diskutiert. Drittens wurde ein Kreativ-Workshop mit Vertreterinnen und Vertretern aus prioritären Zielgruppen durchgeführt und ausgewählte Ergebnisse im Rahmen von Experteninterviews diskutiert und bewertet. Abschließend wurden die Ergebnisse auf den Radonschutz übertragen und übergeordnete Handlungsempfehlungen abgeleitet.

4. DURCHFÜHRUNG

Nach Durchführung der Literaturrecherche und -analyse zum wissenschaftlichen Forschungsstand wurden mit dem BfS zwei Zielgruppen und mehrere Alltagssituationen zur eingehenden Situationsanalyse und Ideenentwicklung ausgewählt. Im Workshop am 23.10.2019 kamen Vertreterinnen und Vertreter der Zielgruppen „Erzieher“ und „Jugendliche“ zusammen und gemeinsam mit dem Projektpartner INNOKI wurden insgesamt 140 Lösungsideen entwickelt, um den UV-Schutz in bestimmten Situationen zu ermöglichen oder zu erleichtern. Die Lösungsideen wurden gemeinsam mit dem BfS diskutiert und die zehn besten Ideen in Form von Prototypen ausgearbeitet. Rückmeldung aus den Experteninterviews, die zwischen dem 18.11. und 02.12.2019 stattfanden, flossen in die Ausarbeitung und Bewertung der Maßnahmen ein.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERGEBNISSE DER FORSCHUNGSSTANDANALYSE

Die Befunde der systematischen Literaturanalyse zeigen, dass es bereits vielfältige Nudge-Maßnahmen gibt, um den Sonnenschutz bei Menschen zu fördern. Unterschiede wurden in der Verbreitung verschiedener Nudge-Typen identifiziert: Während insbesondere Feedback-Nudges und der Einsatz sozialer Normen weit verbreitet sind, gibt es weniger Anwendungen zur Veränderung der Entscheidungsstruktur. Vielfältige Altersgruppen und Freizeitkontexte wurden in getesteten Interventionen bereits adressiert, Männer, besonders gefährdete Hochrisikogruppen und spezielle Arbeitskontexte dagegen noch wenig.

5.2 ERGEBNISSE DES KREATIVWORKSHOPS

Im Workshop entstanden 140 Lösungsideen, die anschließend priorisiert, ausgewählt und weiterentwickelt in zehn Nudge-Prototypen mündeten. Die zehn entwickelten Nudge-Prototypen verdeutlichen, dass es unterschiedliche Ansätze gibt, um zielgruppen- und situationsspezifische Barrieren für den UV-Schutz zu adressieren.

Fünf der Prototypen richten sich an Kinder, Erzieherinnen und Erzieher oder Eltern und orientieren sich dabei an Situationen in Kindertagesstätten, bei Ausflügen und im Alltag: Ein Sonnenschutz-Sammelheft (1) soll Kinder in Betreuungseinrichtungen stärker in den eigenen Sonnenschutz einbinden und motivieren. Durch eine interaktive Veranstaltung (2) soll eine Person als Vorbild fungieren, um eine Routine für den Sonnenschutz bei Kindern zu bilden. Klebemotive und ein UV-Poster (3) sollen dabei helfen, das Umfeld der Kinderbetreuungseinrichtung so zu gestalten, dass Erzieherinnen und Erzieher regelmäßig an den ausreichenden Schutz erinnert werden. Weiterhin sollen Eltern durch einen digitalen Sonnenschutz-Reminder (4) zu einem konsequenteren Schutz ihrer Kinder bewegt werden. Eine sich verfärbende Sonnenschutz-Figur (5) hilft Erzieherinnen und Erziehern dabei, das Risiko durch UV-Strahlung besser einschätzen zu können und entsprechend zu handeln.

Weitere fünf Prototypen richten sich an Jugendliche in Situationen in der Schule, im Freibad und im Alltag: Jugendliche sollen durch übersetzte Informationen im Unterricht und einen Erklärfilm (6) befähigt werden, das Risiko durch UV-Strahlung besser einzuschätzen und zu mehr Sonnenschutz motiviert werden. Durch Sonnenschutzmittel-Spender in Freibädern (7) soll Sonnenschutz für Jugendliche besser zugänglich gemacht werden. Ein UV-Gefahrensymbol in Wetteranwendungen (8) zielt darauf ab, Jugendliche zu befähigen, das tägliche Risiko einzuschätzen und sie zu erinnern. Durch ein Sonnenschutzmittel zum Teilen (9) soll das Thema Sonnenschutz für Jugendliche zugänglicher gemacht werden und zu einem besseren Schutz motivieren. Ein Sonnensegel-Bau-Set für Schulen (10) soll den Zugang zu Schatten erleichtern und Jugendliche interaktiv einbinden.

5.3 ERGEBNISSE DER EXPERTENINTERVIEWS UND DER BEWERTUNG

Die Ergebnisse der Experteninterviews zeigen, dass es mit einigen dieser Maßnahmen bereits viele positive Erfahrungen gibt, andere Maßnahmen wiederum noch weitgehend unbekannt sind. Mit Hilfe des Expertenfeedbacks wurden konkrete Umsetzungsszenarien entwickelt und die Maßnahmen priorisiert. Die Maßnahmen, denen die befragten Expertinnen und Experten einen hohen Nutzen zusprechen und die gleichzeitig mit einem überschaubaren Aufwand für den Initiator und mögliche Bündnispartner verbunden sind, sind das Sonnenschutz-Sammelheft (1) und die interaktive Veranstaltung (2). Die Maßnahmen, die sich wiederum durch einen hohen Neuartigkeitsgrad und Nutzen auszeichnen, allerdings mit höheren Aufwänden verbunden sind, sind das UV-Gefahrensymbol in Wetteranwendungen (8) und das Sonnensegel-Bau-Set für Schulen (10).

5.4 ERGEBNISSE DES EXKURS AUF RADON

Der Exkurs auf den Bereich Radonschutz zeigt, dass es einige Gemeinsamkeiten mit UV-Schutz bezüglich der Wahrnehmung und der Verhaltensweisen von Bürgerinnen und Bürgern gibt. Wichtige Ansatzpunkte zum Verständnis sind der Wissensstand und die Risikowahrnehmung von Bürgerinnen und Bürgern. Hier kann festgestellt werden, dass Radon insgesamt in der Bevölkerung recht unbekannt ist und die Gefahr dadurch als eher gering eingeschätzt wird. Auch zum Radonschutz gibt es einige verhaltensbasierte Ansatzpunkte, die bestehende Maßnahmen verbessern können. Diese sollten jedoch eingehend auf ihre Wirksamkeit geprüft werden, bevor sie in der Breite eingesetzt werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die vorgeschlagenen nudges dienen einem verbesserten UV-Schutz innerhalb der Bevölkerung bzw. in prioritären Zielgruppen. Zur weiteren Umsetzung findet 2020 ein interner Workshop statt, der eine Priorisierung der Nudges sowie das Sichtbarmachen konkreter Schritte für eine Umsetzung der Maßnahmen zum Ziel hat. Im weiteren Fortgang sind dann Bündnispartner (UV-Schutz-Bündnis) mit einzubeziehen.

2.6 Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

2.6 Subject area 08
Non-ionising radiation

Thema			
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer			
Subject			
Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly men			
Kennzeichen 3616S82430	**Beginn** 11.05.2016	**Ende** 31.03.2019	**Fördermittel** EUR 386.599,-
Forschungs- / Auftragnehmer Kompetenzzentrum Schlafmedizin, Charité - Universitätsmedizin, Campus Benjamin Franklin, Berlin			
Projektleitung Prof. Dr. H. Danker-Hopfe	**Fachbetreuung BfS** PD Dr. B. Pophof / WR 5	**verantwortlich für den Text** Prof. Dr. H. Danker-Hopfe, Dr. H. Dorn	

1. ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

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

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

2. EINZELZIELSETZUNG

Zu untersuchen war die nächtliche Schlafqualität sowie tagsüber die mittels Elektroenzephalographie (EEG) gemessene Hirnaktivität und die kognitive Leistungsfähigkeit unter einer mehrstündigen Exposition mit simulierten Signalen der Endgeräte nach dem GSM- und dem TETRA-Standard. Das Schlaf-EEG wurde als Modell für eine gut untersuchte und durch die Umgebung wenig beeinflusste Gehirnaktivität herangezogen. Um den Einfluss des Gebrauchs von Telefonen bzw. Funkgeräten kurz vor dem Schlafengehen auch zu erfassen, begann die Exposition 30 min vor dem Schlaf. Tagsüber wurden während einer mehrstündigen Exposition die kognitive Leistungsfähigkeit (Reaktionszeiten, Gedächtnis, Wachsamkeit) und das Wach-EEG untersucht.

2.1 DOSIMETRISCHE ANALYSE UND TECHNISCHE BETREUUNG DER EXPOSITIONSANLAGE

Die Expositionsanlage für dieses Forschungsvorhaben wurde von der Firma Seibersdorf Labor GmbH entwickelt. Für die Befeldung des Kopfes der Probanden wurden elektromagnetische Felder verwendet, wie sie bei Gebrauch von GSM900 Mobiltelefonen und Endgeräten des TETRA-Funks entstehen. Im Rahmen der doppelt-verblindeten Studie wurden bei sitzenden bzw. schlafenden Probanden definierte Expositionen erzeugt, wie sie hinsichtlich der Feldverteilung und Energieabsorption bei Benutzung von GSM900 und TETRA-Endgeräten im Bereich des Ohres auftreten können. Als Zielwerte der maximalen lokalen (über 10 g Gewebe gemittelten) spezifischen Absorptionsrate (SAR) im Kopf der Probanden wurden 2 W/kg (GSM900) bzw. 6 W/kg (TETRA) festgelegt. Die dosimetrische Charakterisierung der Expositionsanlage umfasste eine Basisdosimetrie und Unsicherheitsanalyse, eine Hirnregion-spezifische dosimetrische Analyse (inkl. thermischer Berechnungen) und eine messtechnische Erfassung der Hintergrundfelder am Probandenplatz.

2.2 PROBANDENREKRUTIERUNG

Alle 30 eingeschlossenen Probanden mussten Rechtshänder und Nichtraucher sein. Um an der Studie teilnehmen zu können, durften die Probanden keine Medikamente einnehmen, die auf das zentrale Nervensystem wirken. Sie durften weder zum Zeitpunkt der Studienteilnahme noch in der Vorgeschichte (subjektiv) eine Schlafstörung oder eine psychische Erkrankung haben. Akute schwerwiegende körperliche Erkrankungen wurden als Ausschlusskriterium behandelt. Alle Probanden mussten eine normale Tag/Nachtorganisation

aufweisen und durften unter keiner stärkeren Beeinträchtigung des Seh- und Hörvermögens leiden. Im Ruhe-EEG mit geschlossenen Augen mussten alle Probanden einen Alpha-Rhythmus als Grundrhythmus zeigen.

2.3 DATENERHEBUNG

Alle eingeschlossenen Probanden mussten insgesamt je neun Studiennächte und -tage im Labor absolvieren. Die Studie folgte einem randomisierten, doppelblinden, placebo-kontrollierten cross-over-Design.

3. METHODIK

3.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Für die effiziente doppelt verblindete und randomisierte Befeldung der Probanden wurde eine Doppel-Expositionsanlage entwickelt. Diese Anlage erlaubt die parallele Befeldung von Probanden an zwei unabhängigen Testplätzen, d. h., die gesamte Hardware der Anlage ist zweifach ausgeführt. Auch die zugehörige Steuer- und Monitoringsoftware ist zweifach (auf zwei unterschiedlichen Laptops) vorhanden, wobei, zur Sicherstellung der Konsistenz des Befeldungschemas, beide Softwaremodule aber auf einen zentralen Datensatz für die Zulosung und Speicherung der Expositionsdaten zugreifen. Die Befeldung der Probanden erfolgte mittels einer flachen, an der linken Kopfseite im Bereich des Ohres befestigten Dual-Band-Antenne, so dass die Expositionsbedingungen GSM und TETRA doppelblind appliziert werden konnten.

Zur Ermittlung der notwendigen Antenneneingangsleistung, um die festgelegten Zielexpositionswerte im Kopf der Probanden zu erreichen, wurden die folgenden Unsicherheitsquellen berücksichtigt:

- Unsicherheiten des numerischen Quellenmodells
- Variation der Antennenpostition am Kopf (Auswirkung auf die SAR-Verteilung)
- Variationen der Antennenanpassung infolge Variationen der Antennenposition
- anatomische Unterschiede zwischen Probanden
- biologischer Schwankungsbereich der dielektrischen Gewebeparameter
- Schwankungsbereich der Hautfeuchte
- Einfluss von Feuchteschwankungen der Textilummantelung der Antenne
- Einfluss der EEG-Elektroden.

Zur Bestimmung der elektromagnetischen Hintergrundimmissionen in den geschirmten Probandenräumen im Frequenzbereich von 0 Hz bis 250 MHz (magnetisches Feld) bzw. 5 Hz bis 3 GHz (elektrisches Feld) wurden Messungen in mehreren Positionen im Aufenthaltsbereich der Probanden, insbesondere in Situationen, wie sie während der Experimente vorherrschen, durchgeführt. Die Zimmerbeleuchtung war jeweils angeschaltet.

3.2 REKRUTIERUNG UND UNTERSUCHUNG DER PROBANDEN

Die Probanden wurden für diese Studie mit folgenden Verfahren rekrutiert:

- Teilnahme an früheren Studien
- Mund-zu-Mund Propaganda
- Flyer Seniorensport
- Anzeige auf eigener Hompage, über den E-Mail-Verteiler des Vereins zur Förderung der Seniorenuniversität Berlin e. V. (pro seniores) und auf Probanden.info.

3.3 UNTERSUCHUNG DER PROBANDEN

Nach erfolgreichem Screening und Einschluss in die Studie durchliefen alle Probanden drei Untersuchungsbedingungen (GSM 900 MHz, 2W/kg; TETRA 6W/kg; Sham) jeweils dreimal in zufälliger Reihenfolge (randomisiert, placebokontrolliert). Nach einer Gewöhnungsnacht und einem Gewöhnungstag verbrachte jede Versuchsperson neun Nächte im Schlaflabor und absolvierte an neun Nachmittagen eine Reihe unterschiedlicher Aufmerksamkeits- und Gedächtnistests. Dabei wurde gleichzeitig ein EEG abgeleitet. Der Abstand zwischen den Testungen betrug ca. eine Woche. Welche Expositionsbedingung an welchem Testtag bzw. in welcher Testnacht vorlag, wusste weder die Versuchsperson noch die Person, welche die Tests bzw. die Nacht-

ableitung durchführte (doppelblind). Alle Probanden durchliefen alle Expositionsbedingungen (cross-over-Design).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PROBANDEN

Die Überprüfung der Ein- und Ausschlusskriterien erfolgte in einem umfangreichen Screeningverfahren. Ein Telefoninterview zu Beginn der Rekrutierungsphase gab neben den festgelegten Teilnahmevoraussetzungen auch Aufschluss über das Konsumverhalten alkoholischer und koffeinhaltiger Getränke, über das aktuelle gesundheitliche Befinden, über eine mögliche Medikamenteneinnahme und über das Schlafverhalten der Probanden. Im zweiten Schritt der Rekrutierungsphase wurden die Teilnahmekriterien anhand validierter Fragebögen zur Schlafqualität (Pittsburgh Schlafqualitätsindex; PSQI), zur Tagesschläfrigkeit (Epworth Schläfrigkeitsskala; ESS), zur Morgen-Abendtyp-Bestimmung (MAB) sowie zur Abschätzung depressiver (Selbstbeurteilungs-Angst-Skala; SAS) geprüft. Als nächstes folgte eine medizinische Untersuchung bei der Studienärztin. Dieses Arztgespräch umfasste eine neurologisch-psychatrisch-internistische Untersuchung sowie ein Elektrokardiogramm und ein Wach-EEG. Zum weitestgehenden Ausschluss einer schlafbezogenen Atmungsstörung wurde ein ambulantes Apnoe-Screeninggerät eingesetzt. Im letzten Schritt der Rekrutierungsphase wurden die Probanden dann zu einer Screeningnacht einbestellt, die der Abklärung von etwaigen Schlafstörungen sowie der Eingewöhnung an die Laborbedingungen dienen sollte. Diese Nacht durfte keinen Anhalt für das Vorliegen einer schlafbezogenen Atmungs- oder Bewegungsstörung ergeben.

4.2 ABLAUF DER STUDIE

Während des Nachtschlafes wurden die Gehirntätigkeit an 19 Ableitpostitionen, Augenbewegungen, Muskelaktivität und Herzaktivität sowie in der Eingewöhnungsnacht auch die Atmung und Beinbewegungen erfasst. Daraus lassen sich Informationen zur Schlafstruktur, wie Anteile an Tiefschlaf, leichtem Schlaf und Traumschlaf, sowie Zeit bis zum Einschlafen und Wachzeit in der Nacht ableiten. Zusätzlich wurde das Auftreten besonderer Muster im Schlaf (z. B. Schlafspindeln) erfasst sowie die Zusammensetzung des Schlaf-EEGs nach verschiedenen Frequenzen.

In den Tagesuntersuchungen, die am Nachmittag stattfanden, wurden Messungen zur tonischen und phasischen Aktivität sowie Tests zu verschiedenen Komponenten von Aufmerksamkeit und zum Arbeitsgedächtnis durchgeführt. Während der gesamten Untersuchungszeit wurde die Gehirnaktivität an 19 Ableitpositionen aufgezeichnet. Es wurden die Testleistungen und die Gehirnaktivität bei der Durchführung bestimmter Aufgaben und im Ruhezustand ausgewertet.

Um eine gegenseitige Beeinflussung der EEG-Aufzeichnung und der Hochfrequenzexposition zu vermeiden, wurden die EEG-Geräte mit Filtern und Abschirmungen ausgestattet und es wurden spezielle Messfühler zur Signalaufzeichnung entwickelt.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERGEBNISSE DER DOSIMETRISCHEN CHARAKTERISIERUNG DER EXPOSITIONSANLAGE

Nach Konzeptionierung und Aufbau der Expositionsanlage sowie Validierung des Antennenmodells erfolgten umfangreiche numerische Berechnungen für die detailierte Analyse und Unsicherheitsabschätzung bezüglich der Absorption im Kopf der Probanden. Die ermittelte resultierende Gesamtunsicherheit der Exposition (SAR 10 g im Gehirn) beträgt < ±35 % für TETRA-Exposition und < ±36 % für GSM900-Exposition.

Darüber hinaus wurden numerische Berechnungen der Gewebetemperaturerhöhungen infolge der Exposition bzw. des Tragens der Antenne durchgeführt. An der Hautoberfläche (zwischen Antenne und Hautoberfläche) konnten die numerischen Berechnungen validiert werden. Die an der Hautoberfläche berechneten bzw. gemessenen Temperaturerhöhungen während der Exposition betrugen weniger als 1°C (TETRA) bzw. weniger als 0,5°C (GSM900). Im temporalen Kortex (Gehirnregion mit größter Absorption) lagen die berechneten Temperaturerhöhungen infolge der Exposition bei weniger als 0,2°C (TETRA) bzw. 0,1°C (GSM900).

Die Messungen der Hintergrundfelder am Probandenplatz ergaben, dass die statische magnetische Flussdichte in allen untersuchten Positionen im Normalbereich des statischen Erdmagnetfeldes, d. h. zwischen 40 und 50 µT lag. Außer bei 50 Hz lagen alle Immissionen im Frequenzbereich zwischen 5 Hz und 3 GHz unter-

halb der Nachweisgrenzen der verwendeten Messgeräte, was die Effektivität der Abschirmmaßnahmen in den Probandenräumen bestätigt.

5.2 REKRUTIERUNG

Für die Studie haben sich insgesamt 362 Interessenten gemeldet. Davon haben 122 Männer die Fragebögen ausgefüllt, die notwendig sind, um zu überprüfen, ob sie für eine Studienteilnahme geeignet sind. Die restlichen 240 hatten nach einem ausführlichen informierenden Telefongespräch entweder kein Interesse mehr oder sie erfüllten Kriterien, die mit einer Studienteilnahme nicht vereinbar waren. Nach Durchsicht der Fragebögen wurden 86 Männer zur medizinischen Voruntersuchung eingeladen, bei 29 lagen Ausschlusskriterien vor, 7 hatten das Interesse an einer Studienteilnahme verloren. Von den 86 Männern, die zu einer medizinischen Voruntersuchung eingeladen wurden, wurden 75 zur Gewöhnungsnacht aufgenommen, 10 erfüllten Ausschlusskriterien und einer hatte das Interesse verloren. Bei 41 ergaben sich in der Gewöhnungsnacht Hinweise auf eine Schlafstörung, bei einer Person war die Datenqulität durchgängig nicht ausreichend, zwei haben die Studie vorzeitig abgebrochen und einer hat nach der Adaptationsnacht das Interesse verloren. 30 Probanden konnten in die Studie eingeschlossen werden.

Die eingeschlossenen 30 Probanden waren im Durchschnitt 69,1 ± 5,6 Jahre alt. Im Mittel brauchten die Männer der Gewöhnungsnacht 10,0 min ± 7,4 min zum Einschlafen. Die Schlafeffizienz in dieser ersten Nacht lag bei durchschnittlich 85,3 % ± 7,2 %. Bei allen Männern lag der Apnoe-Hypopnoe-Index unter 15 pro Stunde, im Mittel betrug er 3,3 ± 3,0. Der Index für periodische Beinbewegungen mit Arousal lag bei allen Probanden unter 20 pro Stunde (2,8 ± 4,8).

5.3 UNTERSUCHUNG DER PROBANDEN

5.3.1 Ergebnisse zur Gehirnaktivität im Schlaf

Aus den Schlafaufzeichnungen kann eine Fülle an Daten gewonnen werden, die die sogenannte Schlafarchitektur beschreiben. Insgesamt wurden 30 Makrostrukturvariablen für die gesamte Nacht sowie je 15 Ergebnisparameter für den 1. Schlafzyklus und das 4. Nachtviertel für die Auswertung herangezogen. Die Ergebnisse der Untersuchung eines möglichen Expositionseffektes auf die Gehirnaktivität im Schlaf zeigen nur sehr geringe Auswirkungen auf die Struktur des Schlafes. Während N1-Schlaf (ein Teil des Leichtschlafs) unter GSM im Vergleich zu Sham vermehrt auftrat, konnte unter TETRA-Exposition im Vergleich zu Sham eine Abnahme der Arousals beobachtet werden.

Die Auswertung der Schlafdaten auf mikrostruktureller Ebene erfolgte für die gesamte Nacht. Es wurde zum einen überprüft, ob die Expositionsbedingungen einen Einfluss auf die Schlafspindeldichte (Schlafspindeln sind für den Schlaf charakteristische EEG-Muster) haben. Die statistische Anlayse ergab, dass die Schlafspindeldichte durch die GSM-Exposition keine statistisch signifikanten Veränderungen aufwies. Unter TETRA-Exposition war dagegen die mittlere Schlafspindeldichte an einigen Elektroden in einigen Schlafstadien im Vergleich zu Sham kleiner.

Zum anderen wurde das Schlaf-EEG quantitativ mittels Powerspektralanalyse ausgewertet. Dafür wurden die Powerspektralwerte einzelner Schlafstadien jeweils zu verschiedenen Frequenzbändern zusammengefasst, die nach den Empfehlungen der Internationalen Pharmaco-EEG Gesellschaft (IPEG) verwendet werden sollten. Statistisch signifikante Effekte einer GSM-Exposition konnten in allen Schlafstadien hinten und/oder rechts seitlich hinten beobachtet werden und betrafen mehrere Frequenzbereiche. In einigen Schlafstadien zeigten sich zusätzlich Effekte auch an zentral und/oder vorne mittig gelegenen Elektrodenpositionen, wobei dann eher höhere Frequenzbereiche betroffen waren. Dabei hatte die Exposition überwiegend eine verringerte EEG-Power zur Folge. Eine Zunahme der EEG-Power infolge der Exposition konnte nur sehr selten festgestellt werden. Unter der TETRA-Exposition waren ebenfalls überwiegend die höheren Frequenzbereiche betroffen, allerdings traten die Effekte in der Regel linksseitig auf. Auch hier hatte die Exposition überwiegend eine verringerte EEG-Power zur Folge.

5.3.2 Ergebnisse zur Gehirnaktivität und zu kognitiven Leistungen im Wach

Die Tagesuntersuchungen starteten mit dem Pupillographischen Schläfrigkeitstest, der ein nichtinvasiver Test zur Objektivierung des Grades der zentralnervösen Aktivierung und somit indirekt auch der Schläfrigkeit ist. Über eine Dauer von elf Minuten wird in einem komplett abgedunkelten Raum das Pupillenverhalten gemessen. Ein statistisch signifikanter Effekt der Expositionsbedingungen auf den Pupillenunruheindex, welcher die Veränderungen der Pupillenweite in Millimeter pro Minute angibt, konnte nicht festgestellt werden.

Der darauffolgende Alpha Attenuation Test stellt ebenfalls eine physiologische Methode zur Erfassung von Variationen im Grad der Schläfrigkeit dar. Für die Auswertung wurden die okzipitale Alpha-Aktivität bei geöff-

neten und bei geschlossenen Augen sowie der sich daraus ergebende Koeffizient herangezogen. Letzterer kann als Indikator physiologischer Schläfrigkeit betrachtet werden. Weder die GSM- noch die TETRA-Exposition hatte einen statistisch signifikanten Einfluss auf die untersuchten Ergebnisparameter.

Direkt im Anschluss erfolgte ein fünf-minütiges Ruhe-EEG, welches spontane Schwankungen der Hirnstromaktivität im Ruhezustand bei geschlossenen Augen misst. Für die Auswertung wurden die Frequenzen des EEGs nach den IPEG-Empfehlungen zusammengefasst. Bei einer paarweisen Betrachtung zwischen den Expositionsbedingungen zeigte sich, dass die GSM-Exposition sowie die TETRA-Exposition im Vergleich zur Shambedingung zu einer statistisch signifikanten Zunahme der EEG-Power in einigen Frequenzbändern an einigen Elektroden geführt haben.

Neben der spontanen Hirnaktivität können mittels EEG auch Aktivitätsmuster abgeleitet werden, die im Zusammenhang mit einem bestimmten Ereignis, z. B. einer Reizdarbietung, auftreten. Die Verarbeitung der physikalischen Parameter des Reizes wird dabei überwiegend in so genannten evozierten oder exogenen Potentialen ausgedrückt und geht mit relativ kurzen Latenzen einher. Komplexere Verarbeitungsprozesse, die eher unabhängig von der Beschaffenheit des Reizes sind und hinsichtlich psychologischer Faktoren variieren können, spiegeln sich in ereigniskorrelierten oder endogenen Potentialen wider. Bestimmte endogene Potentiale können aber auch vor einem Ereignis beobachtet werden, wenn mit Ereignis nicht die Reizdarbietung sondern die Reaktion auf einen Reiz gemeint ist. Diese Potentiale werden als langsame Hirnpotentiale bezeichnet. Sie reflektieren Informationsverarbeitungsprozesse, die zur Vorbereitung auf ein späteres, gezieltes Handeln notwendig sind.

In der vorliegenden Studie wurden entsprechende langsame Hirnpotentiale u. a. durch eine visuelle Folgereaktionsaufgabe erzeugt. Am Bildschirm wurde dafür eine symbolisierte Uhr dargestellt, deren Uhrzeiger sich gegen den Uhrzeigersinn drehte. Per Tastendruck sollte dieser Zeiger nach drei kompletten Umläufen so genau wie möglich in der 12-Uhr-Position gestoppt werden. Die Amplitude des erzeugten langsamen Hirnpotentials wies an keiner der 13 betrachteten Ableitpositionen unter der Exposition statistisch signifikante Veränderungen auf. Ebenso war die Genauigkeit gemessen in absoluter Winkelabweichung, mit der der Zeiger in der 12-Uhr-Position gestoppt wurde, nicht statistisch signifikant durch die Expositionsbedingungen beeinflusst.

In einem weiteren Test zu langsamen Hirnpotentialen wurde der Einfluss der Expositionsbedingungen auf die Erwartungswelle überprüft. Dafür wurde mittels einer symbolisierten Uhr ein Warnreiz-Zielreiz-Paradigma angewendet. Das Erscheinen des Zeigers in der 12-Uhr-Position stellte den Warnreiz und das Loslaufen des Zeigers den Zielreiz dar. Die Exposition hatte keinen statistisch signifikanten Effekt auf den zwischen diesen beiden Reizen zu beobachtenden Verlauf des EEGs. Die Reaktionszeiten beim Stoppen eines Zeigers unterschieden sich ebenfalls nicht statistisch signifikant zwischen den Expositionsbedingungen.

Das Bereitschaftspotential ist ein langsames Hirnpotential, welches vor einer selbstinitiierten Bewegung entsteht. Eine einfache Tastendruckaufgabe ist ausreichend, um dieses Potential zu untersuchen. Für die Auswertung wurden das eigentliche (frühe) Bereitschaftspotential, das sich in einer langsam ansteigende Negativierung bis kurz vor Bewegungsbeginn zu erkennen gibt, und der steile Anstieg unmittelbar vor der Bewegung, der die späte Komponente des Bereitschaftspotentials darstellt, herangezogen. Unter der GSM-Exposition war die Amplitude dieser späten Komponente im Vergleich zu Sham weniger stark ausgeprägt.

In der vorliegenden Studie zeigten beim Test „Wahlreaktion auf Töne“, bei dem sich die Probanden auf abwechselnd vorgespielte hohe und tiefe Töne konzentrieren und auf diese mit geschlossenen Augen per Tastendruck reagieren sollten, der Mittelwert und die Standardabweichung der erfassten Reaktionszeiten sowie die Anzahl der Fehler keine statistisch signifikanten Veränderungen durch die Expositionsbedingungen. Der Verlauf des ereigniskorrelierten Potentials zeigte unter beiden Expositionsbedingungen an einigen Elektrodenpositionen einen statistisch signifikant veränderten Verlauf im Vergleich zu Sham.

Bei einem Oddball-Test, bei dem die Aufgabe darin bestand, immer dann eine Taste zu drücken, wenn ein hoher Ton zu hören war, zeigten sich beim Mittelwert der Reaktionszeit und der Anzahl der falschen Reaktionen auch keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen. Die Analyse der Amplitudenunterschiede zwischen seltenen und häufigen Tönen ergab allerdings, dass sich diese untersuchten EEG-Parameter statistisch signifikant zwischen der TETRA-Exposition und der Sham-Exposition an einigen Positionen unterschieden. In beiden Fällen war die Differenz unter Exposition kleiner.

Im Test zur Überprüfung des Arbeitsgedächtnisses wurde die sogenannte „n-back- Aufgabe“ verwendet. Dieser Test erforderte von der Versuchsperson, sich einerseits Informationen kurzfristig zu merken, gleichzeitig neue Informationen aufzunehmen und auf zuvor Gesehenes zu reagieren. In dieser Studie war ein maximaler Schwierigkeitsgrad von „2-back“ vorgesehen. Entsprechend wurden für die Auswertung die Anzahl der richtigen Reaktionen sowie der Mittelwert der Reaktionszeit für die Schwierigkeitsgrade „0-back“, „1-back“ und

„2-back“ getrennt berechnet und analysiert. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Expositionsbedingungen bei allen Schwierigkeitsgraden weder einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit noch auf die Anzahl der richtigen Reaktionen hatten.

In einer Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit mussten sich die Männer gleichzeitig auf Kreuze, die auf dem Monitor erschienen, und auf hohe und tiefe Töne, die abwechselnd zu hören waren, konzentrieren. Immer dann, wenn vier Kreuze ein Quadrat bildeten oder die Tonabfolge unregelmäßig war, musste so schnell wie möglich eine Reaktionstaste gedrückt werden. Es wurden die Anzahl der richtigen Reaktionen auf die Kreuze, die ein Quadrat bilden (optischer Teil des Tests), und die Anzahl richtig erkannter Tonfolgen (akustischer Testteil) erfasst und die Reaktionsgeschwindigkeit, mit der die Taste gedrückt wurde, und deren Standardabweichung. Alle Werte wurden für die Teilaufgaben getrennt und für den gesamten Test berechnet. Keiner der insgesamt 12 untersuchten Werte unterschied sich statistisch signifikant zwischen den Expositionsbedingungen.

Im Vigilanztest ging es darum, über längere Zeit auf ein selten vorkommendes Ereignis schnell zu reagieren. In diesem Test war das seltene Ereignis ein größerer Ausschlag eines Balkens, der sich auf dem Monitor auf und ab bewegte. In diesem Test wurden die mittleren Reaktionsgeschwindigkeiten und deren Standardabweichung sowie die Anzahl der richtig getätigten Tastendrücke erfasst, zum einen für die Dauer des gesamten Tests (ca. 10 Minuten) und zum anderen für die erste und die zweite Testhälfte getrennt. Die Standardabweichung der Reaktionszeit war in den zweiten fünf Minuten durch die GSM-Exposition statistisch signifikant verringert.

Im Test zur selektiven Aufmerksamkeit wurde überprüft, wie gut die Männer in der Lage waren, das plötzliche Auftauchen von Symbolen in einer bestimmten Zusammenstellung zu entdecken – in diesem Test drei Dreiecke, die mit der Spitze nach unten zeigen - und sich von den anderen Symbolen (Dreiecken, die mit der Spitze nach oben zeigen) nicht ablenken zu lassen. In einer schnellen Abfolge wurden wiederholt Reihen von sieben Dreiecken gezeigt, wobei in jedem Bild andere Dreiecke nach oben bzw. nach unten zeigten. Es wurden der Mittelwert und die Standardabweichung der Reaktionszeit sowie die Anzahl der richtigen Reaktionen erhoben. Keiner der drei untersuchten Werte wurde durch die Expositionsbedingungen statistisch signifikant verändert.

5.3.3 Ergebnisse zu den in den Nächten und am Tage eingesetzten Fragebögen

Die Auswertung der eingesetzten Fragebögen in den Experimentalnächten ergab, dass statistisch signifikante Variationen in Abhängigkeit von der Exposition bei den untersuchten Ergebnisparametern insgesamt nur sehr selten zu beobachten waren. Die Ergebnisparameter, die allerdings expositionsabhängige Unterschiede zeigten, waren entweder den erfassten körperlichen Beschwerden oder den untersuchten Befindlichkeiten und mit einer Ausnahme auch der subjektiven Schlafwahrnehmung zuzuordnen. Im Vergleich zu den Experimentalnächten konnten bei den eingesetzten Fragebögen während der Tagestestungen überhaupt keine statistisch signifikanten expositionsabhängigen Ergebnisse festgestellt werden.

5.4 FAZIT

Es konnten einige wenige physiologische Expositionseffekte auf die Hirnaktivität im Schlaf und im Wachzustand beobachtet werden, wobei bei der Vielzahl durchgeführter Tests Zufallseffekte nicht ausgeschlossen werden können. Es konnten keine nennenswerten Auswirkungen der Exposition auf die Schläfrigkeit und auf kognitive Funktionen festgestellt werden. Insgesamt liefern die leichten physiologischen Veränderungen keine Hinweise dafür, dass eine HF-EMF-Exposition ausgehend von Mobiltelefonen und TETRA-Endgeräten gesundheitsbeeinträchtigende Auswirkungen hat.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das BfS hat bereits ähnliche Studien an älteren Frauen sowie jungen Männern gefördert. Ein quanitativer Vergleich aller Ergebnisse wird im Rahmen eines Folgeprojektes (3619S82465) durchgeführt. Er soll ermöglichen die Alters- und Geschlechtsabhängigkeit der beobachteten Wirkungen elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf die Gehirnaktivität zu beurteilen. Die Ergebnisse dienen der regelmäßigen Überprüfung der Gültigkeit der Expositionsbeschränkungen und werden in die regulatorischen Aktivitäten des BMU einfließen. Die Ergebnisse werden international publiziert und der Information der Bevölkerung, Gremien und Fachkreise dienen.

Thema Fachgespräch zur Risikobewertung und Risikowahrnehmung beim Stromnetzausbau **Subject** *Expert talk on risk evaluation and risk perception regarding the extension of the electricity grid*			
Kennzeichen 3618S82450	**Beginn** 15.11.2018	**Ende** 14.03.2019	**Fördermittel** EUR 57.961,-
Forschungs- / Auftragnehmer RISA GmbH, Berlin und adelphi GmbH, Berlin			
Projektleitung Dr. G. Becker	**Fachbetreuung BfS** Dr. C. Böhmert / St-RK	**verantwortlich für den Text** Dr. G. Becker, Dr. R. Brandt, T. Viertel	

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen seines Forschungsprogramms zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ hat das BfS im Themenfeld „Risikowahrnehmung und Risikokommunikation“ am 29. und 30. November 2017 ein Fachgespräch in Neuherberg durchgeführt, an dem verschiedene Akteure und Expert*innen teilgenommen haben. Das Fachgespräch ergab im Wesentlichen die folgenden drei Ergebnisse, die im Rahmen dieses Projekts aufgenommen und weiterentwickelt werden sollten:

- Zentrale Begriffe des Diskurses um potenzielle Risiken und Gefahren des Stromnetzausbaus werden von den Stakeholdern unterschiedlich verwendet und auch verstanden. Dies führt zwangsläufig zu Missverständnissen im Dialog miteinander, bis hin zum Nichtverstehen der Argumente. Dies trägt zur Verunsicherung bei und verstärkt latent vorhandene Ängste.
- Im Rahmen des Fachgesprächs sind die Teilnehmenden zu dem Vorschlag gekommen, das BfS solle zentrale Stakeholder und Wissensvermittler*innen befähigen, die Fragen besorgter Bürger*innen adäquat zu beantworten.
- Zur Befähigung von Wissensvermittler*innen müssen für die jeweiligen Zielgruppen Schulungskonzepte und -inhalte entwickelt bzw. weiterentwickelt werden.

Vor diesem Hintergrund hat das BfS RISA und adelphi beauftragt, ein weiteres Fachgespräch vorzubereiten, organisatorisch zu begleiten und zu moderieren. Das Fachgespräch sollte schwerpunktmäßig die beiden ersten genannten Themen aufgreifen, jedoch auch bereits Ansätze eines Vermittlungskonzepts skizzieren. Das Fachgespräch sollte als Workshop-Format umgesetzt werden, das eine aktive Partizipation und Mitgestaltung der Stakeholder ermöglicht.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt hatte zwei Einzelzielsetzungen, welche in zwei Arbeitspaketen umzusetzen waren.

2.1 ERARBEITUNG DER INHALTLICHEN GRUNDLAGEN DES 2. FACHGESPRÄCHS

Die inhaltlichen Grundlagen des Projekts basieren auf dem Stand von Wissenschaft und Technik, wie er sich in der Literatur des BfS darstellt. Darüber hinaus waren die Ansichten der einzelnen Stakeholder zu ermitteln und mit dem in der Literatur zum Ausdruck gebrachten Stand abzugleichen.

2.2 ORGANISATION, MODERATION UND NACHBEREITUNG DES 2. FACHGESPRÄCHS

Die Auftragnehmer hatten das Fachgespräch inhaltlich vorzubereiten, zu organisieren, zu moderieren und zu dokumentieren. Mit den Teilnehmenden des Fachgesprächs sollten die unter 2.1 ermittelten inhaltlichen Grundlagen diskutiert und bewertet werden. Darüber hinaus sollten mit den Teilnehmenden potenzielle Wissensvermittler*innen identifiziert und erste Konzepte zur Schulung und Wissensvermittlung entwickelt werden, die dazu beitragen können, Wissen zu den gesundheitlichen Auswirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern zu vermitteln.

3. METHODIK

Für das erste Arbeitspaket wurde eine Kombination aus Literaturanalyse und Textrecherche in Verbindung mit Telefoninterviews von mit der Thematik länger befassten Stakeholdern eingesetzt.

Für das zweite Arbeitspaket wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber Teilnehmende identifiziert, die die wesentlichen am Diskurs zum Stromnetzausbau beteiligten Stakeholdergruppen repräsentieren. Es wurden Formate, Inhalte, Dramaturgie und Materialien für die beiden Tage des Fachgesprächs entwickelt. Das Fachgespräch wurde als Workshop-Format nach der Metaplan-Methodik konzipiert. Die Ergebnisse wurden in Form einer Power-Point-Präsentation dokumentiert und visualisiert. Die Dokumentation des Fachgesprächs ist Bestandteil des Abschlussberichts.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERARBEITUNG DER INHALTLICHEN GRUNDLAGEN DES 2. FACHGESPRÄCHS

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte zur Umsetzung des Vorhabens dargestellt. Die Paraphrasen der einzelnen untersuchten Veröffentlichungen und Studien stehen als Anhang zum Zwischenbericht zur Verfügung. Aus Gründen des Datenschutzes werden die im Rahmen der Expert*inneninterviews erstellten Protokolle nur in der Zusammenfassung ihrer wesentlichen Ergebnisse abgebildet.

4.1.1 Literaturanalyse und Textrecherche

Für das Fachgespräch wurde im Wesentlichen auf die Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Analyse des öffentlichen Diskurses zu gesundheitlichen Auswirkungen von Hochspannungsleitungen – Handlungsempfehlungen für die strahlenschutzbezogene Kommunikation beim Stromnetzausbau“ zurückgegriffen. Eines der Ergebnisse der Studie ist, dass das BfS zwar als wissenschaftlich seriös und vertrauenswürdig gesehen wird, als Informationsquelle bei den Stakeholdern jedoch wenig bekannt ist. Darüber hinaus würden die Diskursteilnehmer*innen sich oft nur auf Studien beziehen, die ihre Meinung unterstützen. Die Studie empfiehlt, das BfS stärker zu „bewerben“ und für die Stakeholder sichtbarer zu machen. Ferner müsse man in Betracht ziehen, dass die Gesundheitsthematik nur eines von vielen Themen des Diskurses zum Stromnetzausbau ist.

4.1.2 Expert*inneninterviews

Als inhaltliche und konzeptionelle Vorbereitung des zweiten Workshops dienten auch Interviews mit Expert*innen. Für ein Interview angefragt wurden Vertreter*innen unterschiedlicher Stakeholdergruppen, die sich aktiv seit mehreren Jahren beruflich oder privat im Themenfeld elektrische und magnetische Felder beim Stromnetzausbau engagieren. Als Expert*innen angesprochen und interviewt wurden Akteure aus den Bereichen:

- Wissenschaft
- Nichtregierungsorganisation/Umweltschutz
- Übertragungsnetzbetreiber
- Politik/Landesverwaltung
- Medizin/Gesundheit
- Bürgerinitiativen
- Bundesamt für Strahlenschutz

Insgesamt wurden Interviews mit sieben Expert*innen, von denen einige mehr als eines der genannten Gebiete repräsentieren, durchgeführt. Die Interviews dauerten zwischen 45 und 90 Minuten.

4.1.3 Durchführung der Literatur- und Diskursanalyse

Die Ergebnisse der im Rahmen der Literaturanalyse herangezogenen Studien wie auch die Ergebnisse aus den Interviews mit den Expert*innen sind in den wesentlichen Punkten ähnlich bis deckungsgleich. So kann aus beiden Quellen eindeutig die Empfehlung abgeleitet werden, das BfS solle auf Grund seiner hohen Glaubwürdigkeit im Diskurs zu elektrischen und magnetischen Feldern sichtbarer sein und das „BfS-Label“ besser einsetzen. Das BfS möge seine fachlich fundierten Materialien aktiver bewerben und als Ansprechpartner in den vom Stromnetzausbau betroffenen Regionen präsenter sein. Darüber hinaus solle das BfS gezielt Unterrichtsmaterialien für verschiedene Schulformen und Klassenstufen bereitstellen. Grundsätzlich unterstreicht die Recherche, dass die fachlichen und wissenschaftlichen Kompetenzen des BfS stakeholderübergreifend Anerkennung genießen und dass diese die Glaubwürdigkeit des BfS stärkten. Vertreter*innen von Unterneh-

men wie auch anderer Institutionen hingegen werden häufig Voreingenommenheit und die Vertretung der eigenen Interessen unterstellt.

Vor diesem Hintergrund wurden aus der Literaturanalyse und den Expert*inneninterviews für die inhaltliche und methodische Konzeption des Workshops folgende zentralen Inhalte und Ziele abgeleitet:

- die Identifikation von Schlüsselbegriffen mit jeweiliger Definition und Bildwirkung sowie die Priorisierung derselben
- die Identifikation der zentralen Stakeholder des Diskurses
- die Identifikation potenzieller Wissensvermittler*innen im Diskurs
- Ansätze für ein Vermittlungskonzept für Wissensvermittler*innen.

Im Ergebnis wurden insgesamt 28 Begriffe identifiziert und bearbeitet, davon wurden 10 priorisiert und im Rahmen des Fachgesprächs diskutiert. Die für den Diskurs relevanten Stakeholder wurden auf Grund eigener Kenntnis des Stakeholder-Milieus und Erkenntnissen aus den Telefoninterviews identifiziert und in Absprache mit dem Auftraggeber zum Fachgespräch eingeladen.

Wissensvermittler*innen können im Diskurs zu elektrischen und magnetischen Feldern beim Stromnetzausbau beitragen, fundierte Informationen an die vom Stromnetzausbau betroffene Bevölkerung vermitteln, offene Fragen beantworten sowie Ängste und Unsicherheiten ausräumen. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen der Literaturanalyse und in den Gesprächen mit Expert*innen sondiert, welche Akteursgruppen sich für die Rolle als potenzielle Wissensvermittler*innen besonders eignen. In der Recherche und in den Interviewgesprächen wurden Ärzt*innen, Lehrer*innen, Vertreter*innen von Landesbehörden (z. B. Landesgesundheitsämter) und Vertreter*innen lokaler Behörden (z. B. Bürgermeister*innen) als potenzielle Wissensvermittler*innen identifiziert. Im weiteren Kreis der Wissensvermittler*innen wurden im Rahmen der Interviews auch Landes- und Lokalpolitiker*innen sowie Fachreferent*innen der Parteien genannt.

Sowohl in der ausgewerteten Literatur wie auch in den Interviews mit den Expert*innen wurden konkrete Empfehlungen und Ideen für eine Optimierung der Kommunikation mit und zwischen den Stakeholdern formuliert. Dies gilt für die Kommunikation des BfS im Allgemeinen wie auch für Vermittlungskonzepte mit Unterstützung von Wissensvermittler*innen im Besonderen. Die hier gewonnenen Erkenntnisse und Impulse wurden für die Entwicklung der Workshop-Agenda, -Dramaturgie und der Metaplanmaterialien für das Fachgespräch genutzt.

4.2 ORGANISATION, MODERATION UND NACHBEREITUNG DES 2. FACHGESPRÄCHS

Bereits in der Leistungsbeschreibung angelegt war die Idee eines auf zwei Tage verteilten Fachgesprächs mit Workshop-Charakter. In Bezug auf Inhalte und die teilnehmenden Akteure wurde die folgende Ausrichtung der beiden Fachgesprächstage angedacht:

4.2.1 Konzeption des 2. Fachgesprächs

Vor dem Hintergrund, dass das Fachgespräch konzeptionell auf die aktive Partizipation der Teilnehmenden ausgerichtet war und wesentliche Inhalte durch die Teilnehmenden erarbeitet werden sollten, wurde in der Ansprache der Teilnehmenden der Begriff des „Workshops“ (WS) dem des „Fachgesprächs“ vorgezogen. Abbildung 1 stellt die Basiskonzeption des Fachgesprächs dar.

Zu den jeweiligen Workshop-Tagen wurden unterschiedliche Akteure angefragt und eingeladen:

- Workshop-Tag 1
  Angefragt wurden zentrale Akteure aus Stakeholdergruppen, die aktiv am Diskurs zu elektrischen und magnetischen Feldern beteiligt sind. Angefragt wurden insgesamt ca. 40 Vertreter*innen der Wissenschaft, lokaler Behörden, Medizin/Gesundheit, Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB), Verteilnetzbetreiber (VNB), Bürgerinitiativen, Zivilgesellschaft/Umweltschutz, Bundesnetzagentur (BNetzA) und des Bundesamts für Strahlenschutz. Die Kontaktaufnahme und Ansprache erfolgte telefonisch und via E-Mail. Alle angefragten Akteure erhielten detaillierte Informationen zum Projekt, Projektziel und zum Ablauf des Workshops. Mit allen angefragten Akteuren kam es zu einem telefonischen Austausch im Themenfeld und zu ihrer Rolle im Diskurs. Die hier gewonnen Erkenntnisse sind ebenfalls in die Detailkonzeption des Workshops eingeflossen. Anspruchsvoll waren die Identifikation und Gewinnung von verantwortlichen Akteuren des Raum- und Planfeststellungsverfahrens lokaler Behörden. Angefragt wurden Akteure von vier Regierungsbezirken in vom Netzausbau betroffenen Regionen. Hier konnten die im Themenfeld fachlich involvierten und verantwortlichen Akteure zwar identifiziert und angesprochen werden, allerdings war aus zeitlichen Gründen eine Teilnahme von keinem der angesprochenen Akteure möglich. Die Anfrage an diese Akteure erfolgte im zeitlichen Umfeld der Veröffentlichung des Netzentwicklungsplans

Abbildung 1: Basiskonzeption des Fachgesprächs

2030 (2019). Diese zeitliche Koinzidenz kann als ein wesentlicher Grund für die Nichtteilnahme dieser Akteursgruppe am Workshop interpretiert werden.

- Workshop-Tag 2
  Angefragt wurden Akteure aus relevanten, am Diskurs beteiligten Stakeholdergruppen sowie Vertreter*innen aus gesellschaftlichen Gruppen, die als Wissensvermittler*innen denkbar sind, d. h. konkret Vertreter*innen der Wissenschaft, Medizin/Gesundheit, Zivilgesellschaft/Umweltschutz, Bildung und des Bundesamts für Strahlenschutz. In der Erstkonzeption der Veranstaltung waren auch Kirchenvertreter*innen als potenzielle Wissensvermittler*innen und somit auch Teilnehmende angedacht. Dies hat sich aber durch die Recherche und durch die Abfrage potenzieller Wissensvermittler*innen im Rahmen der Interviews nicht bestätigt.

  Akteure der BNetzA konnten aus zeitlichen Gründen nicht am Workshop teilnehmen. Auch hier kann die zeitliche Nähe der Veröffentlichung des Netzentwicklungsplans 2030 (2019) wesentlich für Absagen gewesen sein.

  Beide Workshop-Tage wurden von einem Kommunikationsexperten des Nationalen Instituts für Wissenschaftskommunikation (NaWik) begleitet, der auch beratend an der Konzeption des Workshops beteiligt war.

4.2.2 Entwicklung der Agenda

- Workshop-Tag 1
  Der Fokus von Workshop-Tag 1 lag auf der Präsentation der Schlüsselbegriffe des Diskurses und der Diskussion derselbigen mit den Stakeholdern. Ziel war eine möglichst konsensuale Ergänzung und Erweiterung der Schlüsselbegriffe des Diskurses um die Perspektive der Stakeholder. Im Vorfeld der Begriffsdiskussion sollten die Stakeholder eine Einführung in das BfS-Vorhaben, dessen Ziele und ihrer Rolle in diesem Vorhaben erhalten. Darüber hinaus sollten sie eine Einführung in die Methodik der Auswahl und Definition der Schlüsselbegriffe erhalten. Auf Basis dieser inhaltlichen und konzeptionellen Vorgaben wurde die Agenda für Workshop-Tag 1 entwickelt.
- Workshop-Tag 2
  Der Fokus von Workshop-Tag 2 lag auf der Identifikation potenzieller Wissensvermittler*innen und der gemeinschaftlichen Entwicklung einer Konzeptskizze für die BfS-Kommunikation. Im Vorfeld der gemeinsamen Konzeptentwicklung sollten die Teilnehmenden eine Einführung in die Risikokommunikation und die Entwicklung von Wissensvermittler*innen-Konzepten anhand eines Best-Practice-Beispiels erhalten. Auf Basis dieser inhaltlichen und konzeptionellen Vorgaben wurde die Agenda für Workshop-Tag 2 entwickelt.

5. ERGEBNISSE

Die vollständigen Ergebnisse, d. h. für Tag 1 die mit den Teilnehmenden auch nachträglich abgestimmte Liste der Definitionen der Begriffe und für den Tag 2 eine systematische Darstellung der Zielgruppen und der Wissensvermittler*innen des BfS sowie zugeordnete Formate und Materialien sind dem Abschlussbericht (http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2019081318803) zu entnehmen. Im Folgenden wird nur jeweils ein Beispiel pro Tag aufgeführt.

5.1 DER SOZIOLOGISCHE RISIKOBEGRIFF

Während sich bei den meisten Begriffen einheitliche Begriffsdefinitionen herauskristallisiert hatten, erwiesen sich am Ende drei sich ergänzende Definitionen für den Risikobegriff, nämlich der (versicherungs-)mathematische, der epidemiologische und der soziologische. Wo sich die epidemiologische Definition als ein Spezialfall des mathematischen Risikos deuten lässt, überträgt die soziologische Definition den Begriff in einen Rahmen, in dem zumindest die Auswirkungen multidimensional und nicht einmal unbedingt quantitativ darstellbar sind. Diese Definition wird in Abbildung 2 beispielhaft dargestellt.

Ergänzungen im Rahmen des WS

Risiko

Ergänzungen & Empfehlung für die Kommunikation

- Das genaue Risiko, d.h. die genaue Wahrscheinlichkeit negativer gesundheitlicher Effekte durch elektrische und magnetische Felder sollte möglichst konkret kommuniziert und mit anderen geeigneten Individualrisiken in Beziehung gesetzt werden.
- Risikowahrnehmung ist individuell sehr unterschiedlich und häufig sehr emotional besetzt. Dies sollte in der Kommunikation mit den Stakeholdern berücksichtigt werden.
- Nicht sichtbare und schwer bestimmbare Risiken werden häufig als gravierender eingeschätzt als sichtbare und bestimmbare.

Erweiterte Definition (Entwurf):

Eine Risikodefinition, die über die mathematische Definition des Risikos hinaus geht, berücksichtigt psychologische, soziologische und individuelle Faktoren der Risikowahrnehmung. Zwischen der gefühlten Risikowahrnehmung und der mathematisch ermittelten Schadenswahrscheinlichkeit liegen oft hohe Diskrepanzen, die mathematisch nicht aufgelöst werden können. So werden nicht sichtbare und schwer bestimmbare Risiken häufig als gravierender eingeschätzt als eindeutig sichtbare und bestimmbare Risiken. Dies gilt auch für elektrische und magnetische Felder. Elektrische und magnetische Felder sind nicht sicht- und in der Regel gar nicht wahrnehmbar; darüber hinaus gibt es Mehrdeutigkeit und Uneinigkeiten im wissenschaftlichen Diskurs zu Ursache und Schadwirkung. Hinzu kommen individuell verschiedene Wahrnehmungen von Schadwirkungen und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten. Diese faktisch vorhandenen und individuell wahrgenommenen Unsicherheiten müssen in der Kommunikation mit den Stakeholdern berücksichtigt werden.

Abbildung 2: Schlüsselbegriff: Risiko (soziologisch)

5.2 ZIELGRUPPEN UND WISSENSVERMITTLER*INNEN DES BFS

In Abbildung 3 werden die möglichen Zielgruppen und Wissensvermittler*innen für Informationen zum Thema „Stromnetzausbau und Gesundheit“ horizontal und vertikal gegliedert dargestellt. Horizontal wurde die legislative Ebene von Bund und Ländern unterschieden. Daneben steht der Bereich der Medizin; dann folgt der der Bildung/Schule.

Vertikal ist die von oben nach unten verlaufende Hierarchie der Institutionen angelegt, welche bei lokalen potenziellen Wissensvermittler*innen endet. Unterstützende Materialien für die Wissensvermittelnden kann über die darüber liegenden Instanzen verteilt werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des vorliegenden Vorhabens (zweiter Workshoptag: Thema Wissensvermittler*innen vor Ort) finden Eingang in die Gestaltung eines weiteren Ressortforschungsvorhabens zur Gewinnung, Adressierung

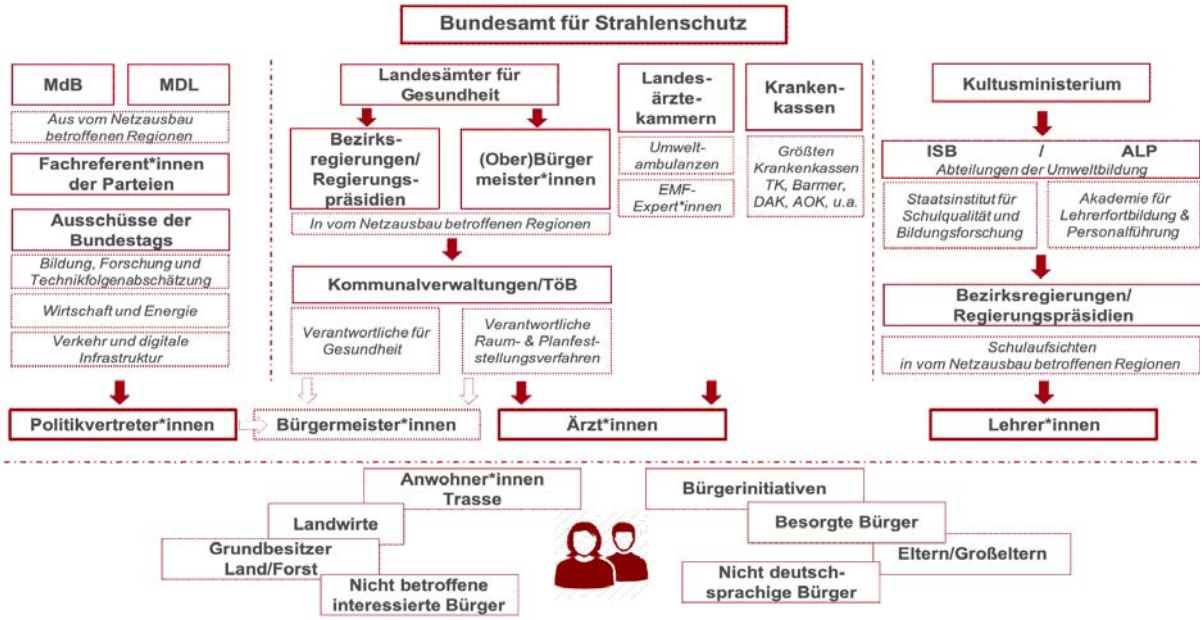


Abbildung 3: Zielgruppen und Wissensvermittler*innen zum Thema „Stromnetzausbau und Gesundheit“

und Information von Wissensvermittler*innen in vom Stromnetzausbau betroffenen Gebieten. Ferner werden die Ergebnisse des Vorhabens (erster Workshoptag: Thema Schlüsselbegriffe) Eingang in die BfS-Kommunikation finden (wesentliche Akteure der BfS Kommunikation zu niederfrequenten Feldern nahmen teil). Die Möglichkeit, aus den Erkenntnissen des Workshops einen Leitfaden zur Verwendung von Schlüsselbegriffen für die Stakeholder beim Stromnetzausbau zu erstellen, wird noch geprüft. Der Workshop selbst hat bei den anwesenden Stakeholdern womöglich bereits zu einer Reflektion des Umgangs mit den Schlüsselbegriffen beigetragen, was den Bürger*innen vor Ort zu Gute kommt (dies ist allerdings nicht nachprüfbar). Die Ergebnisse des Workshops tragen insgesamt zu einer verbesserten Information der Bürger*innen zum Thema niederfrequente Felder und Gesundheit bei.

Thema			
Untersuchung der Machbarkeit und Vorbereitung einer gepoolten Analyse zum Zusammenhang von Amyotropher Lateralsklerose (ALS) und Magnetfeldexposition			
Subject			
Assessment of feasibility and preparation of a pooling study on the relationship between amyotrophic lateral sclerosis (ALS) and exposure to magnetic fields			
Kennzeichen 3618S82451	**Beginn** 01.09.2018	**Ende** 30.08.2019	**Fördermittel** EUR 107.283,-
Forschungs- / Auftragnehmer Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) Unterauftragnehmer: Universitätsklinikum Aachen, Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu)			
Projektleitung Dr. H. Merzenich	**Fachbetreuung BfS** Dr. F. Heinzl / WR 3 Dr. K. Fuks / WR 3	**verantwortlich für den Text** Dr. H. Merzenich	

1. ZIELSETZUNG

Studien zur Exposition gegenüber häuslichen niederfrequenten Magnetfeldern (MF) z. B. bedingt durch die Nähe des Wohnortes zu Hochspannungsleitungen, zeigen keine Hinweise auf ein erhöhtes Erkrankungs- oder Mortalitätsrisiko für Amyotrophe Lateralsklerose. Hingegen sind die Ergebnisse epidemiologischer Beobachtungsstudien zum Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition gegenüber MF und ALS inkonsistent. Ursache hierfür könnte die methodische Heterogenität der Studien sein. Unklar ist zudem die konfundierende Bedeutung von Stromschlägen in Elektroberufen. Stromschläge könnten zum progressiven Verlust von Motoneuronen führen und wären somit ein Risikofaktor für ALS in Elektroberufen. Gleichzeitig sind sog. Elektroberufe (z. B. Elektriker, Telekommunikationstechniker, Lokomotivführer, Schweißer) auch durch hohe MF-Expositionen charakterisiert. Übergeordnetes Ziel des Projektes war die Untersuchung der Machbarkeit und die Vorbereitung einer gepoolten Analyse zum Zusammenhang von ALS und der Exposition gegenüber MF.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

Ziel von AP (Arbeitspaket) 1 war die Identifikation relevanter epidemiologische Publikationen zum Thema „MF und ALS“. Die Studien waren zu beschreiben (Studiendesign, Studiengröße, Endpunkte, Studienergebnisse) und hinsichtlich der allgemeinen Studienqualität zu bewerten. Die Literatursuche sollte sowohl Studien zu beruflich exponierten Kollektiven abdecken als auch den Bereich der häuslichen Expositionen. AP 1 war mit einer Bestandsaufnahme zur vorhandenen wissenschaftlichen Evidenz abzuschließen.

2.2 KONKRETISIERUNG DER FRAGESTELLUNG, AUSWAHL DER STUDIEN UND KONTAKTAUFNAHME (AP 2)

Ziel von AP 2 war die vertiefende Prüfung der identifizierten Publikationen und die Auswahl qualitativ überzeugender Studien für ein Pooling-Vorhaben. Es war die Machbarkeit einer Pooling-Studie zu prüfen und eine Empfehlung für die konkrete Umsetzung abzuleiten. Auch war zu eruieren, ob eine gemeinsame Auswertung einen Beitrag zur Klärung offener Forschungsfragen zum Zusammenhang zwischen ALS und MF leisten kann, wie beispielsweise zur (konfundierenden) Bedeutung von Stromschlägen.

3. METHODIK

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

Für AP 1 wurde eine systematische Literaturrecherche nach Maßgabe der PRISMA-Richtlinien (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) durchgeführt. Zur Bewertung der allgemeinen Studienqualität wurde anschließend eine für dieses Vorhaben modifizierte Version der Newcastle-Ottawa Scale (NOS) erstellt und verwendet.

3.2 KONKRETISIERUNG DER FRAGESTELLUNG, AUSWAHL DER STUDIEN UND KONTAKTAUFNAHME MIT STUDIENLEITERN (AP 2)

Die in AP 1 ermittelten Publikationen wurden deskriptiv aufbereitet und insbesondere hinsichtlich der Qualität von Expositionserfassung und Expositionsschätzung vertiefend bewertet. Für qualitativ überzeugende Studien wurde bei den jeweiligen Studienleitern erfragt, ob die Studiendaten für ein Pooling bereitgestellt würden. Es wurde eine Fallzahlkalkulation durchgeführt und die statistische Aussagekraft eines gepoolten Schätzers bewertet. Es wurde eine Empfehlung hinsichtlich der Machbarkeit einer gepoolten Studie abgeleitet.

4. DURCHFÜHRUNG

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

4.1.1 Definition der Ein- und Ausschlusskriterien

Im Hinblick auf die Zielsetzungen des Forschungsvorhabens wurden epidemiologische Studien (Fall-Kontroll-Studien, Kohortenstudien, Querschnittsstudien) mit einer quantifizierbaren Expositionsmetrik eingeschlossen (d. h. Messungen, Kategorisierung der Exposition mittels Job-Expositions-Matrix (JEM), Wohnortabstand zu Stromleitungen). In Frage kamen Studien, die das Erkrankungs- oder Sterberisiko für ALS oder MND[1)] untersuchten, mit Angaben zur Inzidenz, Prävalenz oder Mortalität. Der Zeitraum für die Veröffentlichung wurde nicht beschränkt. Nicht in die engere Auswahl wurden solche Studien gezogen, die einen Risikoschätzer auf Basis von Berufsangaben berechnet haben, da sie keine Quantifizierung und Kategorisierung der MF-Exposition erlauben. Davon abweichend wurden Studien zu ausgewiesenen Elektroberufen („electrical occupations“) auch dann eingeschlossen, wenn die Risikobewertung alleine auf Berufsangaben beruhte, um diese Studien zumindest deskriptiv darzustellen.

4.1.2 Literatursuche in bibliographischen Datenbanken

Die Suche wurde im EMF-Portal (https://www.emf-portal.org/de) durchgeführt und in Medline/Pubmed. Zusätzlich wurde eine Handsuche in den Referenzlisten von Reviews, Meta-Analysen und identifizierten Einzelstudien durchgeführt.

4.1.3 Festlegung eines geeigneten Suchvokabulars

Im EMF-Portal wurden die Begriffe „*amyotrophic lateral sclerosis*“ oder „*motor neuron disease*“ verwendet und die Suche ohne Beschränkung des Frequenzbereichs, der Studienart und des Publikationszeitraums durchgeführt. Damit wurden alle im EMF-Portal befindlichen Publikationen im Titel, Abstract und in den Mesh-Terms durchsucht. Für die Suche in Medline/Pubmed wurden zusätzlich zu „*amyotrophic lateral sclerosis*“ und „motor neuron disease“ bestimmte Schlüsselbegriffe zur Exposition wie z. B. „*magnetic field*“, „*electromagnetic field*“, „*occupational exposure*“ und „*power line*“ verwendet.

4.1.4 Durchführung der Suche und Sichtung der Ergebnisse, Entfernung von Dubletten

Es wurde ein Titel-Abstract-Screening und eine Durchsicht der Volltexte zur Prüfung inhaltlicher Relevanz nach Maßgabe der Einschlusskriterien durch 2 Wissenschaftler (femu, IMBEI) durchgeführt. Bei abweichender Bewertung wurde eine Konsensentscheidung angestrebt.

Die Recherche wurde dokumentiert (Flussdiagramm).

---

1) Motoneuron-Erkrankung

4.1.5 eingeschlossene Publikationen

Relevante Variablen wurden nach Maßgabe eines Extraktionsprotokolls und Bewertung der allgemeinen Studienqualität mit Hilfe der NOS extrahiert. Die von Cochrane Deutschland (2016) vorliegende Version wurde für die Fragestellung dieses Reviews für Fall-Kontroll-Studien und Kohortenstudien inhaltlich angepasst. Datenextraktion und Qualitätsbewertung wurden ebenfalls durch 2 Wissenschaftler unabhängig durchgeführt (femu, IMBEI), mit Konsensfindung bei abweichenden Extraktionen oder Bewertungen.

4.2 KONKRETISIERUNG DER FRAGESTELLUNG, AUSWAHL DER STUDIEN UND KONTAKTAUFNAHME MIT STUDIENLEITERN (AP 2)

4.2.1 Konkretisierung der Fragestellung

Zu klären war, ob sich ein zukünftiges Pooling auf Studien zu „beruflichen Expositionen“ konzentrieren soll oder ob auch Studien zur „häuslichen Exposition“ in Frage kommen.

4.2.2 Qualitative Prüfung von Einzelstudien

Um die möglichen Quellen von Heterogenität zwischen Einzelstudien zu untersuchen wurde eine Deskription von Studientyp, Endpunkten und ICD-Definitionen der Zielerkrankung durchgeführt, weiterhin die Deskription von Expositionszeiträumen und Beobachtungszeiträumen. Die Methoden der Expositionserfassung wurden beschrieben und ihre Qualität bewertet. Es wurde eine Deskription von Expositionsmetriken und Expositionskategorien vorgenommen und die Möglichkeiten zur Harmonisierung im Rahmen einer Pooling-Studie bewertet. Für die Einzelstudien wurden die jeweils berücksichtigen Confounder beschrieben und Möglichkeiten zur einheitlichen Adjustierung im Rahmen einer zukünftigen Pooling-Studie untersucht. In diesem Zusammenhang wurde geprüft, ob in einer gepoolten Analyse die Effekte von Stromschlägen (auf ALS) von den Effekten der Magnetfelder getrennt werden können.

Auf Basis der zuvor genannten Prüfungen wurden qualitativ überzeugende Studien ausgewählt, die für eine potenzielle Pooling-Studie in Frage kommen. Maßgebliches Kriterium war insbesondere die Qualität von Expositionserfassung und Expositionsschätzung.

Die Studienleiter der entsprechenden Studien wurden kontaktiert und ihre generelle Bereitschaft zur Teilnahme an einer Pooling-Studie erfragt. Es wurden die inhaltlichen Begründungen für die Ablehnung (oder Zustimmung) erfasst und qualitativ aufbereitet.

Zur Prüfung der statistischen Aussagekraft eines gepoolten Schätzers wurden Fallzahlkalkulationen auf Basis verschiedener Annahmen getroffen. In einer gepoolten Studie sollte dabei ein erhöhtes Risiko von 14 % für ALS bei Hochexponierten im Vergleich zu der Referenzkategorie mit einer angestrebten Power von 80 % abbildbar sein. Für die Kalkulation der Fallzahlen wurde die Sofware G*Power Version 3.1 verwendet. Die auf Basis verschiedener Annahmen berechneten Fallzahlen wurden mit den Fallzahlen verglichen, welche entsprechend den konkreten positiven Rückmeldungen der Studienleiter tatsächlich erreicht werden könnten.

Basierend auf den positiven Rückmeldungen der Studienleiter wurde eine Abschätzung des zu erwartenden Zeit-, Kosten- und Personalbedarfs für eine gepoolte Analyse vorgenommen.

Eine zusammenfassende Bewertung und die Ableitung einer Empfehlung für eine Pooling-Studie bildeten den Abschluss.

5. ERGEBNISSE

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

5.1.1 Literatursuche und Studienauswahl

Die Suchabfragen wurden im September 2018 durchgeführt und ergaben insgesamt 396 Studien. Nach Durchsicht von Titel und Abstract wurden 317 Artikel ausgeschlossen, da es sich nicht um Beobachtungsstudien handelte oder aber keine MF-Exposition untersucht wurde. Die Volltext-Analyse der verbliebenen 79 Studien führte nach Maßgabe der Einschlusskriterien zum Ausschluss weiterer 52 Artikel, in denen die Risikoschätzung auf Berufsangaben beruhte. In zwei Publikation wurde ein nicht relevanter medizinischer Endpunkt untersucht. Somit wurden insgesamt 25 Publikationen in das weitere Review-Verfahren eingeschlossen. Von diesen thematisierten 20 Artikel berufliche MF-Expositionen und 5 Studien häusliche MF-Belastungen als Risikofaktor für die ALS-Erkrankung bzw. -Mortalität. Im Hinblick auf AP 2 wurde auch ein im Jahr

2019 publizierter Artikel (gepoolte Fall-Kontroll-Studie) zu ALS und beruflichen MF-Expositionen in das Vorhaben zur Machbarkeitsanalyse eingeschlossen.

5.1.2 Studienergebnisse

Insgesamt 21 Studien zur beruflichen Exposition wurden zwischen 1991 und 2019 publiziert und in 8 Ländern durchgeführt. Acht retrospektive Kohortenstudien untersuchten das ALS-Risiko in spezifischen Berufsgruppen mit höherer MF-Exposition (*utility workers, railway employees, electricity supply workers*). Fünf (retrospektive und bevölkerungsbasierte) Kohortenstudien analysierten den Zusammenhang zwischen beruflicher MF-Exposition und ALS unter Verwendung von Berufsangaben von Zensuserhebungen und Befragungen. Vier (von acht) Fall-Kontroll-Studien berücksichtigten Populationskontrollen und setzten (bis auf eine Studie) strukturierte Fragebögen zur retrospektiven Erfassung der beruflichen Historie ein. Vier US-amerikanische Fall-Kontroll-Studien basierten auf Informationen aus Mortalitätsregistern mit Angaben zur Todesursache und zum Beruf. Von 21 Publikationen zur beruflichen MF-Exposition und dem Erkrankungsrisiko für ALS beruhte die Risikoschätzung in 18 Studien auf quantitativen MF-Kategorien. Drei Studien betrachteten das potenzielle Risiko zwischen Tätigkeit in Berufen und ALS lediglich unter Berücksichtigung des Berufstitels. Tabelle 1 zeigt die Risikoschätzer aller 21 Studien zur beruflichen MF-Exposition (hohe versus niedrige MF-Exposition). Insgesamt deutet die Studienlage darauf hin, dass es einen Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition gegenüber MF und ALS geben könnte. Aspekte wie Studiengröße, Beobachtungsdauer, Studienpopulation, unterschiedliche Dosiskategorien und die Art der Expositionsschätzung könnten die Ursachen inkonsistenter Studienergebnisse sein, ebenso die Berücksichtigung bzw. Nicht-Berücksichtigung relevanter Confounder, wie elektrische Stromschläge.

In den 5 ausgewählten Studien zum Zusammenhang zwischen häuslicher MF-Exposition und ALS konnten übereinstimmend keine statistisch signifikanten Risikoschätzer gezeigt werden.

5.1.3 Bewertung der allgemeinen Studienqualität

Zur Bewertung der allgemeinen Studienqualität wurden die Faktoren Selektionsbias, Fehlklassifikation der Exposition und der Erkrankung sowie Verzerrungsmöglichkeiten durch Confounding berücksichtigt. Jede Studie konnte maximal 10 Punkte erreichen. Die Mittelwerte für die Gesamtpunktzahl des Bias-Risikos unterscheiden sich minimal zwischen Fall-Kontroll-Studien (Mittelwert: 6,8 Punkte) und Kohortenstudien (Mittelwert: 6,7 Punkte). Dabei variiert die erreichte Gesamtpunktzahl bei Fall-Kontroll-Studien(FKS, 4-10 Punkte) stärker als die bei Kohortenstudien (6-9 Punkte).

5.2 KONKRETISIERUNG DER FRAGESTELLUNG, AUSWAHL DER STUDIEN UND KONTAKTAUFNAHME MIT STUDIENLEITERN (AP 2)

5.2.1 Konkretisierung der Fragestellung

Für die Prüfung der Machbarkeit einer gepoolten Analyse werden Studien zur häuslichen MF-Exposition nicht berücksichtigt, da eine Meta-Analyse keinen Zusammenhang mit ALS zeigte. Zum anderen können die hier verwendeten Expositionsmaße (Abstände zwischen Wohnort und Hochspannungsleitungen) nicht unmittelbar mit quanitiativen MF-Kategorien der berufsepidemiologischen Studien verglichen werden.

5.2.2 Qualitative Prüfung von Einzelstudien: Quellen für Heterogenität

Studientyp, Endpunkt, ICD-Definition

Bei den 21 Studien zur beruflichen MF-Exposition und ALS handelt es sich in der Mehrheit um Kohortenstudien (n = 13), darunter eine prospektive Kohorte. Für die 13 Kohorten sind die jeweils aktuellsten Follow-up Daten zu berücksichtigen, so dass sich in einem Poolingverfahren die Anzahl der in Frage kommenden Kohortenstudien auf 10 Primärstudien reduzieren würde. Zu den 8 Fall-Kontroll-Studien gehört eine gepoolte Untersuchung unter Berücksichtigung von Daten aus den Niederlanden, Irland und Italien. Im Hinblick auf die für ein Pooling anzustrebende (methodische) Homogenität empfiehlt sich eine getrennte Betrachtung von Kohortenstudien und Fall-Kontroll-Studien. Mehrheitlich wurde der Endpunkt Mortalität analysiert. In einer Pooling-Studie ist die gemeinsame Betrachtung der Endpunkte Mortalität, Inzidenz und Prävalenz möglich, da zwischen dem Zeitpunkt der Diagnose ALS und dem Versterben nur wenige Jahre liegen. Eine gepoolte Auswertung älterer ICD-Versionen mit der aktuellen ICD-10 ist unproblematisch.

Tabelle 1: Risikoschätzer (hohe vs. niedrige MF-Exposition) in 21 Studien zur beruflichen Magnetfeldexposition

Autoren	Jahr	Land	Studiendesign	Risikoschätzer	$KI_{95\%}$
Pedersen et al.	2017	DNK	Kohortenstudie	2,65	0,98 – 7,13
Johansen & Olsen	1998a	DNK	Kohortenstudie	2,50	1,10 – 4,80*
Röösli et al.	2007	CHE	Kohortenstudie	2,32	0,70 – 7,73
Davanipour et al.	1997	USA	FKS	2,30	0,80 – 6,60
Hakansson et al.	2003	SWE	Kohortenstudie	2,16	1,01 – 4,66*
Koemann et al.	2017	NL	Kohortenstudie	1,93	1,05 – 3,55*
Park et al.	2005	USA	FKS	1,63	1,10 – 2,39*
Johansen	2000	DNK	Kohortenstudie	1,56	0,29 – 8,53
Huss et al.	2015	CHE	Kohortenstudie	1,55	1,11 – 2,15*
Sorahan&Kei-fets	2007	UK	Kohortenstudie	1,53	0,63 – 3,70
Gunnarsson et al.	1991	SWE	FKS	1,50	0,90 – 2,60
Sorahan& Mohammed	2014	UK	Kohortenstudie	1,30	0,54 – 3,14
Savitz et al.	1998b	USA	FKS	1,30	1,10 – 1,60*
Peters et al.	2019	NL,IRL,I	FKS	1,23	0,92 – 1,65
Savitz et al.	1998a	USA	Kohortenstudie	1,20	0,40 – 3,30
Vergara et al.	2015a	USA	FKS	1,09	1,00 – 1,19*
Parlett et al.	2011	USA	Kohortenstudie	0,98	0,39 – 2,50
Fischer et al.	2015	SWE	Kohortenstudie	0,92	0,82 – 1,04
Feychting et al.	2003	SWE	Kohortenstudie	0,80	0,60 – 1,00
Noonan et al.	2002	USA	FKS	0,77	0,37 – 1,59
Gunnarsson et al.	1992	SWE	FKS	0,60	0,20 – 2,00

* statistisch signifikant

CHE, Schweiz; DNK, Dänemark; FKS, Fall-Kontroll-Studie; IT, Italien; IRL, Irland; $KI_{95\%}$, 95% Konfidenzintervall; NL, Niederlande; SWE, Schweden; UK, United Kingdom; USA, United States of America

Expositionszeiträume und Beobachtungszeiträume

Hinsichtlich der Harmonisierung von Expositionsdaten für eine gepoolte Analyse wäre eine Einschränkung des Expositionszeitraumes auf die Jahre ab 1950 zu empfehlen. Hierdurch würde sich der Gesamtzeitraum der Expositiionserhebung zwar von 1900-2003 auf 1950-2003 reduzieren, aber zu einer höheren Homogenität der Expositionsdaten beitragen. Auf Grund heterogener Methodik in Fall-Kontroll-Studien lassen sich für diese keine ähnlichen Schlüsse wie für die Kohortenstudien ableiten.

Methoden der Expositionserfassung

Die Job-Exposure-Matrix (JEM) ist ein etabliertes Instrument in der Berufsepidemiologie. Zur Beurteilung der Methoden der Expositionserfassung wurde für die 21 Studien folgende Kategorisierung vorgenommen: eine Studie wurde der Kategorie „niedrige Qualität“ zugeordnet, wenn keine quantifizierbare Expositionsschätzung in Tesla (oder Gauss) vorlag. Studien wurden der Kategorie „mittlere Qualität“ zugeordnet, wenn eine quantifizierbare Expositionsschätzung auf Basis einer JEM (und/oder Messung) vorlag. Basierte die Expositionsschätzung zusätzlich auf Basis einer vollständigen Berufshistorie, dann wurde die Studie der Kategorie „hohe Qualität“ zugeordnet.

Für eine gepoolte Analyse kommen somit 18 Studien mit „mittlerer Qualität“ oder „hoher Qualität“ infrage, deren Risikoschätzungen auf einer quantitativen MF-Variablen beruhen. Drei Fall-Kontroll-Studien (nur Berufsangabe) sind für ein Pooling auszuschließen, da hier die Expositionserfassung nicht mit den anderen Studien vergleichbar ist und beispielsweise in (gepoolten) Dosis-Wirkungs-Analysen nicht verwendet werden kann.

Expositionsmetriken und Expositionskategorien

In den 18 Studien mit quantifizierbarer Expositionsschätzung wurde überwiegend die Metrik „durchschnittliche berufliche Exposition in µT pro Arbeitstag“ zu Grunde gelegt. Lediglich in drei Kohortenstudien basierte die Analyse auf der (kumulativen) Einheit „µT-Jahre“. Eine Umrechnung in die „durchschnittliche Exposition pro Arbeitstag“ ist möglich. Die studienspezifischen Definitionen für die MF-Kategorien sind vergleichbar, mit einer Variabilität zwischen 0,09 µT und 0,2 µT (MF-Referenzkategorie) bzw. 0,26 µT und 1 µT (höchste MF-Kategorie) für die „durchschnittliche Exposition pro Arbeitstag“. In einer gepoolten Analyse kann eine einheitliche Festlegung bzw. Neudefinition von Expositionskategorien vorgenommen werden.

Berücksichtigung von Confoundern

In einer gepoolten Auswertung könnte studienübergreifend nach Alter und Geschlecht adjustiert werden. Eine Betrachtung nach differenzierten Stromschlag-Kategorien (niedrig, mittel, hoch) wurde lediglich in 5 Studien (von 18) vorgenommen, darunter 2 Fall-Kontroll-Studien.

5.2.3 Auswahl von Studien für ein Pooling

Insgesamt 21 Studien zum Zusammenhang von beruflichen Magnetfeldern und ALS wurden bewertet. Maßgebliches Kriterium für die Machbarkeit einer Pooling-Studie war die Vereinheitlichung der Expositionskategorien. Drei Studien erfüllten diese Vorgabe nicht und werden für ein Pooling-Vorhaben nicht weiter berücksichtigt.

5.2.4 Kontaktaufnahme mit Studienleitern

Die Anfrage an die Studienleiter (von 18 Studien: 13 Kohorten-/5 Fall-Kontroll-Studien) ein Pooling zu unterstützen, wurde im Zuge der Machbarkeitsstudie für 9 Kohortenstudien und 2 Fall-Kontroll-Studien positiv beantwortet. Dies war häufig verknüpft mit der Forderung nach finanzieller Unterstützung zur Aufbereitung von Daten. Da bei Kohortenstudien zum Teil überlappende Studienpopulationen zu berücksichtigen sind und nur die jeweils aktuellste Analyse (mit der längsten Follow-up Dauer) in eine Pooling-Studie einfließen sollte, kommen von diesen 9 Kohortenstudien nur 6 Primärstudien für ein Pooling in Frage.

5.2.5 Prüfung der statistischen Aussagekraft eines gepoolten Schätzers

Um ein um 14 % erhöhtes Risiko für ALS beim Vergleich von Hochexponierten mit Referenzexponierten mit einer Power von 80 % bestimmen zu können, wird eine Gesamtfallzahl von 2 044 121 Personen benötigt. Die kalkulierte Fallzahl kann bereits durch den Einschluss von 6 Kohortenstudien, für die eine Zusage zur Teilnahme an einem Pooling vorliegt, erreicht werden. Der Einschluss von 2 Fall-Kontroll-Studien (mit positiver Rückmeldung der Studienleiter) ändert diese Ergebnisse nicht, wäre jedoch mit einer (unerwünschten) Zunahme an Heterogenität verbunden bei gleichzeitig unwesentlichem Powerzuwachs. Somit orientiert sich die nachfolgend beschriebene Kostenkalkulation an der Einbindung von ausschließlich 6 Kohortenstudien. Auf Grund der großen Fallzahl der Feychting-Kohorte (n=4 812 646) wären die oben beschriebenen Anforderungen bereits allein durch Einschluss dieser Studie erfüllt. Somit besteht die Möglichkeit, dass ein gepoolter Effektschätzer maßgeblich durch die Ergebnisse dieser Studie bestimmt wird.

5.2.6 Abschätzung des zu erwartenden Zeit-, Kosten- und Personalbedarfs für eine gepoolte Analyse

Für die Durchführung einer gepoolten Analyse mit 6 Kohortenstudien wird eine Gesamtlaufzeit von 3,5 Jahren angenommen. Der Personalbedarf setzt sich zusammen aus:

- wissenschaftliche Koordination (0,25-Stelle, drei Jahre)
- medizinische Dokumentar*in (1,0-Stelle, 2 Jahre)
- Studienstatistiker*in (0,5-Stelle, 2 Jahre).

Die beteiligten 6 Studienzentren sollten für die Aufbereitung der Daten unterstützt werden durch jeweils eine*n medizinische*n Dokumentar*in (0,5-Stelle für je ein Jahr). Reisekosten sind erforderlich für ein Kick-off Meeting und 2 Projekttreffen mit je 2 Vertretern von 6 Studienzentren.

5.2.7 Ableitung einer Empfehlung

Für ein zukünftiges Pooling-Verfahren wird empfohlen, nur Kohortenstudien zu berücksichtigen, da nur bei diesen Studien eine ausreichende Homogenität hinsichtlich der Methodik der Expositionserfassung gewährleistet ist.

Für ein zukünftiges Pooling-Verfahren unter Berücksichtigung der 6 Kohortenstudien, für die Zusagen bereits vorliegen, ist eine Homogenisierung von Expositionskategorien möglich. Der besonders hervorzuhebende Mehrwert einer gepoolten Analyse (gegenüber Einzelstudien) besteht in der Möglichkeit, Expositionskategorien und Expositionsmetriken zu vereinheitlichen. Eine darauf beruhende gemeinsame Auswertung wird die verfügbare Datenbasis erheblich erweitern und statistisch belastbare Ergebnisse hervorbringen. Mit Einschluss von 6 Kohortenstudien kann mit einer Power von 80 % ein Effekt von 1,14 beim Vergleich von Hochexponierten und Niedrigexponierten gezeigt werden.

In einem zukünftigen Pooling-Verfahren mit diesen 6 Kohortenstudien ist die Berücksichtigung von Confoundern nur eingeschränkt umsetzbar. Stromschläge wurden in lediglich einer der 6 in Frage kommenden Kohorten als kategoriale Variable mittels spezifischer JEM erhoben, in einer weiteren Studie wurden Stromschläge als dichotome Variable analysiert. Somit wird die Prognose abgeleitet, dass in einer Pooling-Studie mit diesen 6 Kohortenstudien keine weitere Aufklärung zum Einfluss von Stromschlägen auf ALS zu erwarten ist, die über die Erkenntnisse aus gut konzipierten Einzelstudien hinausgeht.

5.3 FAZIT

Zusammenfassend wird die Durchführung einer gepoolten Analyse unter Einbindung von (mindestens) 6 Kohortenstudien empfohlen. Die große Stärke einer gepoolten Analyse besteht in der Vereinheitlichung von Expositionskategorien und dem Zuwachs an statistischer Power im Vergleich zu Einzelstudien. Eine weitere Aufklärung der Rolle von Stromschlägen bleibt ungewiss.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie haben gezeigt, dass eine gepoolte Studie zur Untersuchung des Zusammenhangs von ALS und Magnetfeldexposition grundsätzlich machbar ist. Daher wurde ein entsprechendes Forschungsvorhaben (3620S92411 „Gepoolte Analyse von Studien zum Zusammenhang zwischen Exposition gegenüber extrem niederfrequenten Magnetfeldern und amyotropher Lateralsklerose (ALS) “) in den Ressortforschungsplan aufgenommen.

Thema Überprüfung von Darstellungsformaten für Messergebnisse niederfrequenter Felder und deren Bedeutung für die Risikokommunikation **Subject** *Investigation of presentation formats for results of low-frequency field measurements and their relevance to risk communication*			
Kennzeichen 3618S82452	**Beginn** 01.12.2018	**Ende** 31.10.2019	**Fördermittel** EUR 166.341,-
Forschungs- / Auftragnehmer Karlsruher Institut für Technologie, Abteilung Wissenschaftskommunikation, Karlsruhe			
Projektleitung Prof. Dr. M. Lehmkuhl	**Fachbetreuung BfS** Dr. C. Böhmert / St-RK	**verantwortlich für den Text** Dr. S. Kohler, A. Osterheider	

1. ZIELSETZUNG

Das Forschungsprojekt untersuchte empirisch mittels eines bevölkerungsrepräsentativen Experiments, welche Effekte verschiedene kommunikative Darstellungsformen von Feldstärken, die speziell in der Nähe von Hochspannungsleitungen auftreten, auf Rezipienten haben. Der Fokus lag dabei weniger auf den Inhalten der Kommunikation, sondern vielmehr auf der Art und Weise, wie die Messwerte formal dargestellt und vermittelt, also beispielsweise visualisiert, werden können. Es ging bei diesem Projekt nicht um die Kommunikation von möglicherweise vorhandenen Gesundheitsrisiken, sondern um die Kommunikation der Messwerte als Indikatoren der Exposition. Entscheidend ist der Bezug der Messwerte zu Vergleichsgrößen wie etwa zu gesetzlich festgelegten Grenzwerten (26. BImSchV), zu den berechneten Werten unter maximaler Anlagenauslastung oder zur Exposition durch andere Quellen niederfrequenter Felder (z. B. Haushaltsgeräte). Die konkrete Forschungsfrage lautete: Welche Darstellungsformate für Messergebnisse von niederfrequenten magnetischen und elektrischen Feldern wirken sich positiv auf die Informations-, Risiko- und Expositionswahrnehmung von Rezipienten sowie auf das Erinnern korrekter Informationen aus?

2. EINZELZIELSETZUNG

Um diese Forschungsfrage zu beantworten, wurde zunächst eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt, um den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zum Thema zu ermitteln. Aufbauend auf den Ergebnissen der Literaturrecherche wurde die Untersuchungsmethodik der vorliegenden Experimentalstudie entwickelt. Daraufhin wurden die Stimulusmaterialien gestaltet und ein Online-Fragebogen als Messinstrument der Experimentalstudie erstellt. Die erhobenen Daten aus der Befragung wurden anschließend mit Hilfe quantitativer statistischer Auswertungsverfahren analysiert, verschriftlicht und interpretiert. Zum Schluss wurden die Ergebnisse diskutiert und Empfehlungen für die Kommunikationspraxis abgeleitet.

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

In Anlehnung an die Methoden der Erstellung systematischer Übersichtsarbeiten und narrativer Reviews wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt.

2.2 ENTWICKLUNG EINER ADÄQUATEN UNTERSUCHUNGSMETHODIK

Das Experiment wurde in Form eines 1x3-between-subject-Designs konzipiert, das eine standardisierte Befragung in einem Experimental-Setting mit drei Versuchsgruppen kombiniert.

2.3 DURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG DER UNTERSUCHUNG

Es wurden adäquate Stimulusmaterialien entwickelt und relevante Variablen beschrieben. Nach der Konzeption des Online-Fragebogens erfolgte ein Pretest. Im Anschluss an die Feldphase wurde die Untersuchung ausgewertet.

2.4 ERARBEITUNG VON EMPFEHLUNGEN

Im Anschluss an die Untersuchung und aufbauend auf den Untersuchungsergebnissen wurden Empfehlungen für die Kommunikationspraxis abgeleitet.

3. METHODIK

3.1 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

In Anlehnung an die Methoden der Erstellung systematischer Übersichtsarbeiten und narrativer Reviews wurde eine Literatur- und Quellenrecherche der heterogenen interdisziplinären Wissensbestände durchgeführt, die sich an insgesamt vier Teilbereichen orientierte. Für jeden Teilbereich wurden eigene Fragestellungen formuliert, die als Leitfragen für die Recherche fungierten. Es wurde recherchiert:

- welche Darstellungsformen es für die Ergebnisse von Messungen von magnetischen Feldstärken und für Messergebnisse von anderen, vergleichbaren Größen generell gibt,
- welche Effekte von diesen Darstellungsformen von Messergebnissen ausgehen,
- welche Darstellungsformen der Beziehung von einzelnen Messwerten zu Grenzwerten und simulierten Werten es gibt sowie
- welche Effekte von diesen Darstellungsformen der Beziehung von einzelnen Messwerten zu Grenzwerten, berechneten Werten sowie Expositionen durch andere Quellen niederfrequenter Felder ausgehen können.

Es wurden Originalpublikationen, Reviews und Bewertungen wissenschaftlicher Fachgremien in Bibliotheks- und Bestandskatalogen, ausgewählten Fachzeitschriften sowie Online-Fachdatenbanken mit Hilfe von Schlagwörtern recherchiert und ausgewertet.

3.2 KONZEPTION UND DURCHFÜHRUNG DER STUDIE

Das Experiment wurde in Form eines 1x3-between-subject-Designs (s. Abbildung 1) konzipiert, das eine standardisierte Befragung in einem Experimental-Setting mit drei Versuchsgruppen kombiniert.

Unabhängige Variablen waren die drei Darstellungsformen Video (B1), numerische Infografik (B2) und Erklärgrafik (B3). Als abhängige Variablen galten basierend auf der Leistungsbeschreibung Risikowahrnehmung, Expositionswahrnehmung, Sicherheitswahrnehmung und das Erinnern an (faktische) Informationen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUSWAHL DER DARSTELLUNGSFORMATE

Die Auswahl der Darstellungsformate basierte auf dem in der Literaturrecherche ermittelten Forschungsstand. Die Literaturrecherche ergab, dass kein Konsens bezüglich der Frage, wie beziehungsweise in welcher Form Messwerte niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder an Laien kommuniziert werden können, herrscht. Einigkeit besteht hingegen darin, dass visualisierte Darstellungsformen zur Informationsvermittlung besser geeignet sind als rein textuelle Darstellungsweisen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die visuellen Informationen nicht für sich alleine stehen sondern durch Kontextinformation ergänzt werden. Nach dem Ausschlussprinzip wurden drei Darstellungsformate für die Studie ausgewählt: ein (realistisches) Video (Stimulusmaterial B1), eine numerische Infografik (Stimulusmaterial B2) und eine Erklärgrafik (Stimulusmaterial B3). In allen drei Darstellungsformen B1-B3 wurde der Messwert aus dem Video A in Bezug gesetzt zum Wert, der bei maximaler Auslastung der Hochspannungsleitung erreicht wird, zum geltenden Grenzwert und zu einem Wert, der durch Exposition durch Nahfeldquellen erreicht wird. Als Nahfeldquelle wurde ein handelsüblicher Staubsauger gewählt.

Stimulusmaterial A ist ein einminütiger Videoclip, in welchem der Vorgang der Messung der magnetischen Feldstärke in der Nähe einer 380-kV-Freileitung mit Hilfe realistischen Filmmaterials dargestellt wird. Stimulusmaterial B1 ist ein weiteres Video, welches als Fortsetzung des ersten konzipiert wurde. Es wird der Messvorgang der magnetischen Feldstärke in unmittelbarer Nähe des eingeschalteten Staubsaugers mittels eines Handmessgeräts gezeigt. Stimulusmaterial B2 ist eine numerische Infografik. In die Grafik ist ein Diagramm implementiert, welches die Skala der Mikrotesla-Werte auf der Y-Achse abbildet. Der Messwert in der Nähe des Staubsaugers, der gesetzliche Grenzwert für 380-kV-Freileitungen sowie der Wert der maximalen Aus-

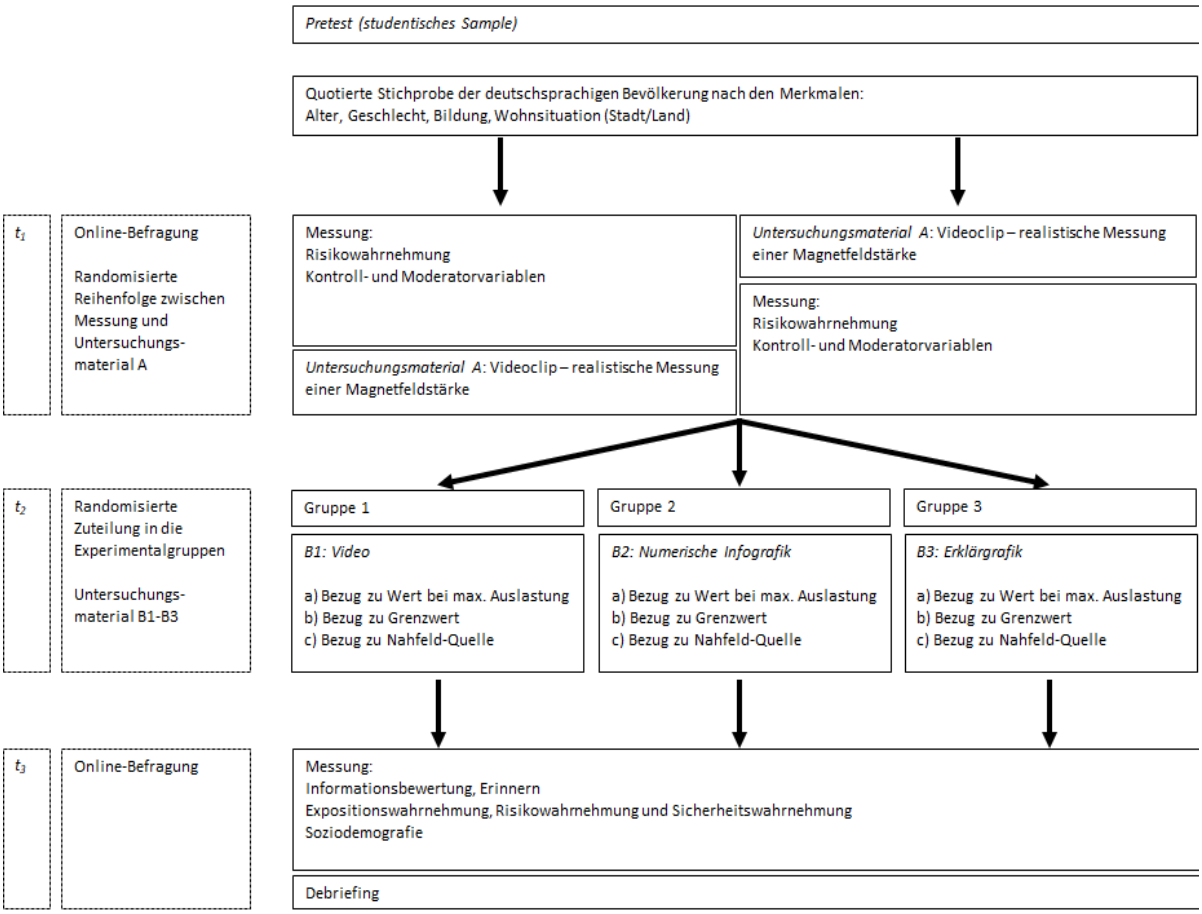


Abbildung 1: Untersuchungsdesign

lastung der 380-kV-Freileitung aus Stimulusmaterial A sind in der Grafik markiert und beschriftet. Die Grafik enthält textuelle Erläuterungen zu den Messungen. Auf der Gestaltungsebene ist die Grafik an die Optik von Stimulusmaterial A angelehnt. Stimulusmaterial B3 ist eine Erklärgrafik, welche die gleichen Elemente wie die numerische Infografik enthält, jedoch ohne das Diagramm-Element. Stattdessen sind in dieser Grafik die Messwerte inklusive kurzen textuellen Erläuterungen auf einer Bildebene angeordnet, die zudem ebenfalls Bildbezüge aus dem ersten Video aufweist.

4.2 DURCHFÜHRUNG DER STUDIE

Der eigentlichen Studie ging ein Pretest voraus. Resultierend aus dem Pretest wurden einige Änderungen vorgenommen. Durchgeführt wurde die Befragung in den Räumlichkeiten des Marktforschungsunternehmens „Foerster und Thelen Teststudio GmbH“ in Mannheim in Form eines Laborexperiments. 274 Testpersonen, die eine repräsentative Stichprobe der deutschen Bevölkerung im Alter zwischen 18 und 65 Jahren bezüglich der Quotenmerkmale Geschlecht, Alter und Bildung widerspiegeln, wurden im Juli 2019 in den Räumlichkeiten des oben genannten Unternehmens befragt. Im Rahmen der Auswertungen wurden die erhobenen Konstrukte mittels Hauptkomponenten-Faktorenanalyse mit Varimax-Rotation und Kaiser-Normalisierung und Reliabilitätstests überprüft. Luden die Konstrukte auf ausschließlich einen Faktor, der inhaltlich plausibel war, wurden die Items miteinander verbunden. Da das Ziel war, die unterschiedlichen Wirkungsweisen der Darstellungsformen auf abhängige Variablen zu analysieren, wurden die ordinalskalierten Items eines Konstruktes in der Regel zu einem additiven Index zusammengefasst. Dadurch waren weitere Analysen wie beispielsweise multiple lineare Regressionen, die intervallskalierte abhängige Variablen voraussetzen, möglich.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERGEBNISSE DER BEFRAGUNG

An der Studie nahmen insgesamt 274 Personen im Alter von 18 bis 65 Jahren teil (Mittelwert M = 40,46; Standardabweichung SD = 15,78), darunter 136 Frauen (49,6 %), 137 Männer (50 %) und eine Person, die sich zu ‚divers' zuordnete (0,4 %). 58 % der Befragten leben in einem Dorf oder einer Kleinstadt mit maximal 20 000 Einwohnern, 8,8 % in einem Vorort oder im Randbezirk einer Stadt, 33,2 % leben in einer Stadt oder Großstadt mit mehr als 20 000 Einwohnern. 47,4 % der Befragten geben an, in der Nähe von Hochspannungsleitungen zu leben, 36,5 % verneinen dies. 16,1 % machten hierzu keine Angabe.

Als eine Variable wurde das Interesse für das Thema Energie und Stromnetzausbau abgefragt. Das Interesse der Befragten für die Themen Energie und Stromnetzausbau fällt eher mittelmäßig bis gering aus (M = 17,72; SD=7,068). Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Experimentalgruppen ($F(2,271) = 1,802$; $p = 0,167$).

Um das Involvement zu prüfen wurden die Befragten unter anderem gefragt, wie wichtig oder unwichtig ihnen das Thema „magnetische Felder" ist, wie interessant oder uninteressant sie es finden, für wie relevant oder irrelevant sie es halten sowie wie spannend oder langweilig sie das Thema einstufen. Auch bei dieser Variable wurde geprüft, ob sich das Involvement der Testpersonen innerhalb der drei Experimentalgruppen signifikant voneinander unterscheidet. Dies ist nicht der Fall ($F(2,271)=2,084$; $p=0,126$).

Das Vorwissen zum Thema „magnetische Felder" wurde geprüft. Auch beim Vorwissen der Befragten zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Experimentalgruppen ($F(2,271) = 0,703$; $p = 0,496$). Das heißt, in allen drei Experimentalgruppen ist das Vorwissen zum Thema magnetische Felder etwa gleich.

In den jeweiligen Darstellungsformen Videoclip, numerische Infografik sowie Erklärgrafik wurde der Messwert aus dem ersten Video in Bezug gesetzt

- zu dem Wert, der bei maximaler Auslastung der Hochspannungsleitung erreicht wird
- zum geltenden Grenzwert
- zum Wert, der in unmittelbarer Nähe (ca. 20 cm) eines eingeschalteten Staubsaugers gemessen wird.

Die Testpersonen wurden für jeden Vergleichswert gefragt, wie verständlich, nützlich, aufschlussreich und nachvollziehbar dieser für sie war. Insgesamt zeigt sich, dass alle Vergleichswerte als (eher) verständlich, nützlich, aufschlussreich und nachvollziehbar empfunden wurden. Der Vergleich mit dem geltenden Grenzwert wurde tendenziell am besten beurteilt, wobei die Unterschiede zwischen den Mittelwerten gering sind. Offenbar verdeutlicht der Grenzwert von 100 Mikrotesla am eindringlichsten, dass das magnetische Feld der im ersten Videoclip präsentierten Hochspannungsleitung vergleichsweise klein ist. Die Vergleichswerte werden unabhängig von Soziodemografie und Darstellungsform ähnlich beurteilt.

Die Informationsbewertung wurde in vier unterschiedliche Konstrukte unterteilt: Klarheit, Glaubwürdigkeit, Nützlichkeit und Komplexität (Skala 1-7 (1 = stimme überhaupt nicht zu, 7 = stimme voll und ganz zu).

- Informations"klarheit" (verständlich, klar, aufschlussreich, nachvollziehbar):
  $F(2,271) = 0,710$; $p = 0,493$
- Informations"glaubwürdigkeit" (neutral; verlässlich; glaubwürdig):
  $F(2,271) = 0,960$; $p = 0,384$
- Informationskomplexität
  $F(2,271) = 1,712$; $p = 0,182$
- Informationsnützlichkeit
  $F(2,271) = 0,356$; $p = 0,701$

Alle drei Darstellungsformate wurden bezüglich ihrer Informationsvermittlung etwa gleich gut beurteilt.

Des Weiteren wurde geprüft, ob die drei Stimulusmaterialien B1-B3 die Bewertung der kommunizierten Informationen, die Risikowahrnehmung der Testpersonen, deren Expositionswahrnehmung, Sicherheitsempfinden oder ihr Erinnern in unterschiedlicher Weise beeinflussen.

Alle Probanden sahen als Stimulusmaterial A einen Videoclip, in dem der Vorgang der Messung einer magnetischen Feldstärke in der Nähe einer 380-kV-Freileitung dargestellt wird. Um zu prüfen, ob die Rezeption dieses Videos bereits einen Effekt auf die Risikowahrnehmung der Befragten hat, wurde die Probandenstichprobe zum Zeitpunkt t_1 nach dem Zufallsprinzip in zwei Substichproben unterteilt (Split Ballot-Verfahren). Eine der beiden Substichproben beantwortete drei Fragen zur Risikowahrnehmung bereits vor der Präsentation

des Stimulusmaterials A. Die zweite Substichprobe beantwortete diese Fragen erst nach der Sichtung des Stimulusmaterials A.

Prüfung Effekt nur Gruppe A, Risikowahrnehmung vorher – nachher

- Premessung (nur Gruppe A) – Postmessung (nur Gruppe A)
  Wilcoxon-Test mit n = 129 ergibt
  → signifikanten Unterschied in der Risikowahrnehmung bei Gruppe A
    - 67 Personen haben eine geringere Risikowahrnehmung nach den Stimuli
    - 26 Personen haben keine Veränderung
    - 36 Personen haben eine erhöhte Risikowahrnehmung nach den Stimuli

Insgesamt wurde die Risikowahrnehmung der Rezipienten durch die Stimulusmaterialien eher gesenkt.

- Videogruppe Risikowahrnehmung vorher – nachher
  Wilcoxon-Test mit n = 97 ergibt signifikanten Unterschied
    - 55 Personen haben eine verringerte Risikowahrnehmung (56,7 %)
    - Bei 19 Personen bleibt die Risikowahrnehmung gleich (19,6 %)
    - 23 Personen haben eine erhöhte Risikowahrnehmung (23,7 %)
- Erklärgrafikgruppe Risikowahrnehmung vorher - nachher
  Wilcoxon-Test mit n = 95 ergibt signifikanten Unterschied
    - 45 Personen haben eine verringerte Risikowahrnehmung (47,4 %)
    - Bei 22 Personen bleibt die Risikowahrnehmung gleich (23,2 %)
    - 28 Personen haben eine erhöhte Risikowahrnehmung (29,5 %)
- Infografikgruppe Risikowahrnehmung vorher - nachher
  Wilcoxon-Test mit n = 84 ergibt keinen signifikanten Unterschied.

Insbesondere das Video und die Erklärgrafik haben die Risikowahrnehmung der Rezipienten gesenkt.

Die Expositionswahrnehmung der Probanden wurde über das Item „Denken Sie an Ihr tägliches Leben. Inwieweit fühlen Sie sich elektromagnetischen Feldern von Hochspannungsleitungen ausgesetzt?" abgefragt.

- Schieberegler 0 – 100 (100 = voll und ganz ausgesetzt)
- Videoclip: Mittelwert M = 32,04; Standardabweichung SD = 27,48
- Erklärgrafik: M = 31,96; SD = 28,10
- Infografik: M = 35,28; SD = 30,71)
- ANOVA: F(2,271) = 0,376; p = 0,687

Die Expositionswahrnehmung unterschied sich nicht in Abhängigkeit des rezipierten Darstellungsformats.

Die Sicherheitswahrnehmung wurde über das Item „Stellen Sie sich vor, Sie würden in dem Haus wohnen, das in dem Video gezeigt wurde. Wie sicher würden Sie sich in Bezug auf das elektromagnetische Feld fühlen?" abgefragt.

- Schieberegler 0-100 (100 = absolut sicher)
- Video: M = 77,32; SD = 24,80
- Erklärgrafik: M=77,12; SD = 21,91
- Infografik: M = 72,37; SD = 27,72
- ANOVA: F(2,271) = 1,103; p = 0,333

Die Sicherheitswahrnehmung unterschied sich nicht in Abhängigkeit des rezipierten Darstellungsformats.

Anhand der Fragen, wie hoch der Grenzwert sei, in welcher Einheit gemessen wurde und welcher Wert für den Staubsauger vor dem Haus gemessen wurde sowie ob der Grenzwert überschritten wurde, wurde das Erinnern geprüft.

- 62 % (n = 170) wussten alle korrekten Antworten.
- 19 % (n = 52) wussten drei von den vier Fragen.
- 9,5 % (n = 26) wussten nur zwei Fragen.

- 7,3 % (n = 20) konnten eine Frage korrekt beantworten.
- 2,2 % (n = 6) wussten keine Frage richtig zu beantworten.
- Video: M = 3,08; SD = 1,20
- Erklärgrafik: M = 3,49; SD = 0,88
- Numerische Infografik: M = 3,38; SD = 1,00

Im Kruskall-Wallis-Test erwiesen sich das Erinnern als signifikant verschieden zwischen den drei Darstellungsformaten. Bei den anschließenden paarweisen Vergleichen zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen Erklärgrafik und Video, die beiden anderen Vergleiche zeigten keine signifikanten Unterschiede.

5.2 EMPFEHLUNGEN FÜR DIE KOMMUNIKATIONSPRAXIS

Folgende Empfehlungen wurden aus den Ergebnissen des Forschungsprojekts abgeleitet:

Aus der Literaturrecherche:

- Verständnis und Einstellungen von Laien können sich auf Grund bereitgestellter Informationen verändern
    - Empfehlung: Bereitstellung von Informationen
- aber: Risiko der Fehlinterpretation von Informationen/Daten oder der erhöhten Besorgnis bzw. Risikowahrnehmung möglich
    - Empfehlung: Verweis auf weitere Informationsmöglichkeiten (Broschüren, FAQ´s auf Webseiten etc.)
- Vertrauenswürdigkeit der Quellen und die Herkunft der Informationen sollte transparent gemacht werden
    - Empfehlung: Informationsmaterial sollte eindeutigen Verweis auf das BfS als Urheber der Informationen enthalten (sowie ggf. auf weitere Quellen)
- rein textuelle Darstellungen sind für das Verständnis weniger förderlich als visuelle Darstellungsformate
    - Empfehlung: Einsatz visueller Darstellungsformate (Wort-Bild-Kombination)
    - realistische visuelle Darstellungen (z. B. Fotos oder Videoaufnahmen) sind förderlicher für das Verständnis als abstraktere Darstellungsweisen (z. B. Tabellen oder Diagramme)
    - Einsatz realistischer Darstellungen innerhalb der Darstellungsformate
- eine zielgruppengerechte Ansprache/Aufbereitung der Infos sollte angestrebt werden
    - Empfehlung: verbale Beschreibungen sollten klar und einfach formuliert sein (z. B. Vermeiden von Fachausdrücken); der Bezug zwischen Wort und Bild sollte klar erkennbar sein.

Aus der Experimentalstudie:

- um Verständnisschwierigkeiten von vornherein zu vermeiden:
    - Empfehlung: Pretest der Informationsmaterialien (kleine Personenstichprobe; geeignete Aspekte: Verständlichkeit, Nachvollziehbarkeit, Nützlichkeit sowie Komplexität der Darstellung bzw. der Informationen)
- Nennen von (Expositions- oder Risiko-)Vergleichswerten bzw. Grenzwerten im Speziellen wurde positiv bewertet, das Verständnis und Erinnern wurde gefördert, die Risikowahrnehmung wurde gesenkt
    - Empfehlung: wenn Bürger über Messwerte von magnetischen Feldstärken informiert werden sollen, mindestens den Vergleich zum gültigen Grenzwert angeben
- alle drei Darstellungsformate wurden überwiegend positiv bewertet; nur geringe Unterschiede hinsichtlich der Effekte einzelner Formate (tendenziell: numerische Infografik „schwächer“ als Video oder Erklärgrafik)
    - Empfehlung: Einsatz von visuellen Darstellungsformaten lohnt sich; das konkrete Darstellungsformat ist zweitrangig (solange die Inhalte qualitativ hochwertig sind und Gestaltungsempfehlungen berücksichtigt werden).

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse helfen bei der Gestaltung von Vor-Ort-Messungen zu Kommunikationszwecken. In einem ersten Schritt wird in einem weiteren Ressortforschungsvorhaben im Refoplan 2020 in einer Feldstudie mit Anwohner*innen vor Ort die Wirkung von Vor-Ort-Messungen zu Kommunikationszwecken untersucht werden.

Für diese Studie hat das aktuelle Vorhaben wichtige Vorerkenntnisse gesammelt: eine Priorisierung der Vergleichswerte, die sinnvollerweise angeführt werden sollten, sowie von möglichen Darstellungen, die vor Ort zur Visualisierung genutzt werden können.

Thema Evaluierung der Botschaften und Texte des BfS aus dem Bereich des Stromnetzausbaus			
Subject *Evaluation of messages and texts published by the BfS with regards to energy grid expansion*			
Kennzeichen 3618S82454	**Beginn** 01.08.2018	**Ende** 31.05.2019	**Fördermittel** EUR 79.020,-
Forschungs- / Auftragnehmer IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin			
Projektleitung B. Oertel	**Fachbetreuung BfS** C. Egblomassé-Roidl / WR 5	**verantwortlich für den Text** B. Oertel	

1. ZIELSETZUNG

Ziel der Studie war die Bewertung der Verständlichkeit der Texte bzw. Materialien des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) aus Sicht der Adressat*innen des BfS und am Beispiel unterschiedlicher Materialien zum Strahlenschutz beim Stromnetzausbau. Dazu zählen Texte im Internet, Broschüren sowie ein Video. Sie sollen wissenschaftlich fundiertes und sachgerechtes Grundlagenwissen und Orientierung bieten. Diese Angebote wurden vorrangig hinsichtlich ihrer inhaltlichen Verständlichkeit untersucht. Dabei wurden auch formale Merkmale mit betrachtet. Im Ergebnis wurden Empfehlungen für Verbesserungen des untersuchten Informationsangebotes zum Strahlenschutz beim Stromnetzausbau präsentiert, die interessierte Bürger*innen dabei unterstützen sollen, sich bedarfsgerecht zum Thema „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ zu informieren und sich dazu eine eigene Meinung zu bilden.

Gegenstand der Untersuchungen war das Themenangebot zum Strahlenschutz beim Stromnetzausbau. Es umfasst neben der als Überblick über ausgewählte Themen organisierten Themenseiten 20 Internetartikel, ein Video und zwei themenspezifische Broschüren. Des Weiteren wurden Vorträge von BfS-Referentinnen bei öffentlichen Veranstaltungen einbezogen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Evaluierung wurde in drei Schritten vorgenommen: Zunächst wurde der relevante Stand von Wissenschaft und Technik im Bereich Risikokommunikation und Stromnetzausbau aufgearbeitet. Darauf basierend wurden die Texte und Botschaften des BfS in einem mehrstufigen Verfahren evaluiert und darauf basierend Empfehlungen erarbeitet.

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Um die aktuelle wissenschaftliche Situation des Forschungsgegenstandes abzubilden wurden die eigenen Vorarbeiten des IZT ausgewertet und Recherchen zum Thema behördliche Risikokommunikation durchgeführt. Zudem wurde der Umsetzungsstand des Stromnetzausbaus untersucht, eine Medienanalyse durchgeführt und das Webseiten-Monitoring des BfS analysiert. Auch die Vorarbeiten des BfS zum Thema elektromagnetische Felder und/oder Risikokommunikation wurden analysiert. In Fachgesprächen mit Mitarbeitern wurde erhoben, wie die im BfS mit der (fachlichen) Kommunikation beauftragten Personen ihre Rolle sehen.

2.2 ANALYSE DES INFORMATIONSANGEBOTES DES BFS ZUM STROMNETZAUSBAU

Um das Informationsangebot des BfS zu evaluieren wurden die Materialien mittels verschiedener wissenschaftlicher Untersuchungsmethoden untersucht.

2.2.1 Analyse der Materialien, die vom BfS angeboten werden

Nach Sichtung und Zusammenschau wurden die Medien des BfS textanalytisch u. a. auf Verständlichkeit, Transparenz, Klarheit, Unabhängigkeit und Sachlichkeit untersucht.

2.2.2 Teilnehmende Beobachtung bei Bürgerinnen und Bürgern sowie Fachleuten

Nach der textanalytischen Untersuchung wurden zunächst die direkten Reaktionen nicht oder kaum betroffener Bürger*innen auf die Webseite und ihre Inhalte untersucht. Durchgeführt wurden 20 einstündige Beob-

achtungen von Personen, die das Angebot des BfS noch nicht kannten. Auf der Basis der Auswertungen wurden dann Textbausteine für die folgende repräsentative Online-Befragung identifiziert.

2.2.3 Repräsentative Befragung von Bürgerinnen und Bürger

Die Auswahl an Textbausteinen des Internet-Auftrittes, das dort angebotene Video zu elektromagnetischen Feldern sowie Exzerpte aus veröffentlichten Broschüren wurden im Rahmen einer repräsentativen Online-Befragung (mind. 1 000 Personen) evaluiert.

2.2.4 Leitfadengestützte Interviews mit professionellen Nutzern

Die Interviews dienten vor allem dazu zu beurteilen, ob und wie die Webseite des BfS von professionellen Nutzern genutzt wird und wie diese die Nutzbarkeit der Seite einschätzen.

2.2.5 Analyse der öffentlichen Auftritte von Mitarbeitern des BfS

Mittels teilnehmender Beobachtung wurden drei öffentliche Auftritte von Mitarbeitern des BfS begleitet, dokumentiert, analysiert und ausgewertet.

2.3 HANDLUNGSOPTIONEN FÜR DIE RISIKOKOMMUNIKATION DES BFS

Auf der Grundlage der in 2.1 und 2.2 dargestellten Arbeitsschritte wurden deren Resultate zusammengeführt und analysiert, um daraus Verbesserungs- und Handlungsoptionen abzuleiten.

3. METHODIK

Ausgehend von einem Überblick über die Materialien des BfS im Internet wurde zur Evaluierung der Materialien des BfS zum Thema „Strahlenschutz beim Ausbau der Stromnetze“ ein Mix qualitativer und quantitativer Methoden gewählt. Im Einzelnen sind dies:

- Lesbarkeitsanalyse
  Bei Lesbarkeitsanalysen werden Textmerkmale wie Satz- und Wortlänge oder der Anteil in einer Sprache wenig gebräuchlicher Wörter ermittelt. Darauf aufbauend werden die Texte in unterschiedliche Schwierigkeitsstufen eingeteilt (beispielsweise Schuljahrgangsstufen oder Universitätsniveau). Diese Analysen werden hier genutzt, um die vorliegenden Texte einzustufen.
- Teilnehmende Beobachtung bei 20 Bürger*innen sowie acht Expert*innen aus Wissenschaft und Praxis
  Bei der teilnehmenden Beobachtung werden die individuellen Reaktionen und Einschätzungen der Untersuchungsbeteiligten dokumentiert und anschließend inhaltsanalytisch ausgewertet. Die Hinweise der Fachleute fließen in die Handlungsoptionen ein.
- Vermittlung technischer Sachverhalte
  Zur Bewertung der Technikkommunikation werden Untersuchungsansätze aus unterschiedlichen Disziplinen herangezogen. Gemessen werden Merkmale wie Sachgerechtigkeit und Angemessenheit. Im Blick steht die Frage, ob ein Herausgeber eines Textes seine Botschaft so an seine Adressaten übermittelt, dass der Text für diese nützlich ist. Die Bewertung zur Technikkommunikation erfolgte durch 34 Studierende des Studiengangs Technikdesign an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.
- Repräsentative Befragung von Bürger*innen
  In einer Online-Befragung wurden ausgewählte Texte und das Video des BfS zum Strahlenschutz beim Stromnetzausbau von insgesamt 1 102 Personen bewertet. Gefragt wurde unter anderem, ob die Materialien als gut strukturiert, verständlich, sachlich und objektiv oder vertrauenswürdig eingestuft werden.
- Interviews mit zehn Fachleuten aus Medizin und Verwaltung
  Mittels mündlich-telefonischen Interviews wurden die Sichten und Erfahrungen von Fachleuten erhoben, die in ihrer täglichen Arbeit mit Fragen des Strahlenschutzes im Ausbau von Stromnetzen bzw. mit Anfragen von Bürger*innen zum Thema befasst sind. Die Interviews wurden protokolliert und ausgewertet.
- Beobachtung von Verlauf und Publikumsreaktionen bei Vorträgen des BfS
  Auf drei Veranstaltungen in Regionen, die vom Stromnetzausbau betroffen sind, wurden Fachvorträge in öffentlichen Veranstaltungen sowie Publikumsreaktionen beobachtet und ausgewertet.

4. DURCHFÜHRUNG

Zwanzig Bürger*innen unterschiedlichen Geschlechts und Alters sowie einem breiten Spektrum an schulischen und beruflichen Werdegängen teilten im Rahmen von teilnehmenden Beobachtungen ihre Einschätzungen zur Verständlichkeit des BfS-Informationsangebotes zum Strahlenschutz beim Ausbau der Stromnetze. Protokolle zeigen ein vielfältiges und teils divergentes Bild.

Ergänzend zur teilnehmenden Beobachtung von Bürger*innen wurden Fachleute aus acht Institutionen mit unterschiedlichen fachlichen Hintergründen und Projektbezügen um ihre Einschätzung des BfS-Informationsangebotes gebeten.

Im Rahmen einer Lehrveranstaltung bewerteten 34 Studierende des Studiengangs Technikdesign an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen die kommunikative Usability von Texten des BfS zum Strahlenschutz beim Stromnetzausbau.

Die Repräsentativbefragung zum Thema „Stromnetze, Strahlenschutz und gesundheitliche Vorsorge“ wurde im Zeitraum vom 12. März bis 18. März 2019 durchgeführt. Mehr als 1 000 Personen nahmen an der Befragung teil.

5. ERGEBNISSE

5.1 LESBARKEITSANALYSE

Alle eingesetzten Lesbarkeitsformen lieferten vergleichbaren Ergebnisse: Eine Lesbarkeit der Texte des BfS ist nur für Personen mit höherer Schulbildung gegeben. Sofern die Rezipierenden nicht auf Grund ihrer außerschulischen Aus- und Weiterbildung Fachkenntnisse erworben haben, ist die Lesbarkeit von Texten aus Broschüren und Internetauftritt für weite Teile der Bevölkerung nicht voll gegeben. Nur der Text des Videos wird nach der Lesbarkeitsformel von Flesch als einfacher eingestuft.

5.2 TEILNEHMENDE BEOBACHTUNG BEI BÜRGER*INNEN

Alle Probanden bewerteten einen Teil der von ihnen rezipierten Informationsinhalte im Allgemeinen als insgesamt gut formuliert und verständlich geschrieben. Gleichzeitig kritisieren - mit zwei Ausnahmen - die Untersuchungsteilnehmenden andere Inhalte. Vor allem naturwissenschaftlich-technische Inhalte werden als nichtssagend oder unverständlich bewertet. Die hohe Anzahl an Fachbegriffen erschwert dabei nicht nur den Zugang, sondern auch die Motivation, sich mit dem Gelesenen auseinanderzusetzen. Insgesamt sind viele Befragte der Ansicht, dass sich die Texte an Fachleute richten. Widersprüchlich wird auch die Fülle des Informationsangebotes eingeschätzt. Einerseits beeindruckt die Vielfalt, andererseits wird die Gefahr der Überforderung gesehen. Daran schließt sich die Forderung nach Kompaktheit bzw. Informationen in verständlicher Sprache an. Auch wird die Sprache des BfS als zu vage wahrgenommen. Begriffe wie „üblicherweise“ irritieren.

In der Folge entspricht das BfS-Angebot zumindest in Teilen nicht den Erwartungen der Untersuchungsteilnehmenden. Eine Ausnahme bildet das Video „Stromleitungen und Strahlenschutz“. Es vereint die höchste Anzahl an positiven Bewertungen auf sich, da es einen „guten Einstieg“ in das Thema bietet und prägnant die wichtigen Aspekte des Themengebietes darstellt.

5.3 TEILNEHMENDE BEOBACHTUNG BEI FACHLEUTEN

Nach Einschätzung der Fachleute gliedert die Struktur des BfS-Internetangebotes die Inhalte übersichtlich. Sie weisen gleichzeitig auf Mängel hin, die die Orientierung im Informationsangebot erschweren, da eine eindeutige Ordnung fehle. Hier könne eine präzisere Navigation Abhilfe schaffen.

Grundsätzlich positiv wird die Breite des Informationsangebotes eingestuft. Der Aufwand für Rezipierende sei jedoch so hoch, dass Inhalte gekürzt oder zusammengefasst werden sollten. Umfassende und detaillierte Informationen könnten ergänzend in Hintergrunddokumenten zusammengefasst und zum Download angeboten werden. Positiv bewerten die Fachleute die Vollständigkeit und Wertneutralität des Informationsangebotes und damit die Vertrauenswürdigkeit des Informationsanbieters BfS. Allerdings wird auch darauf verwiesen, dass der Anspruch auf Wertneutralität mit der Gefahr einhergehe, Bürger*innen mit Antworten auf Fragen zum Strahlenschutz beim Ausbau der Stromnetze allein zu lassen.

Die Expert*innen kritisieren einzelne Internetartikel des BfS mit konkreten Verbesserungs- und Erweiterungsvorschlägen (Basiswissen, Wirkungen sowie Schutz). Dabei wird sowohl auf inhaltliche als auch auf sprach-

liche Aspekte eingegangen. Des Weiteren wird angeraten, die Transparenz durch Verweise auf Quellen und Verlinkungen zu wissenschaftlicher Literatur zu steigern. Empfohlen wird, das Gesamtangebot anregender zu gestalten, um so die Motivation der Rezipierenden zu steigern. Technisch ist der Internetauftritt aus Expertensicht gut umgesetzt. Die Hinweise für Verbesserungen sind auch hier konkret und weisen beispielsweise auf mangelnde Kontraste beim Anzeigen von Schrift oder fehlende Darstellungsoptionen für das Betrachten von Videos auf mobilen Geräten hin.

Auch Fachleute bewerten das Video positiv. Selten werden Sorgen laut, dass die Gestaltung auf gewisse Zielgruppen nicht ernst genug wirken könne.

5.4 QUALITÄT DER VERMITTLUNG TECHNISCHER SACHVERHALTE

Im Blick stand die Frage, ob das BfS seine Botschaften so an seine Adressat*innen übermittelt, dass diese nützlich sind. Gemessen wurden Merkmale wie Sachgerechtigkeit, Verständlichkeit oder das Anregen zur Auseinandersetzung mit dem Thema.

Die Studierenden kommen zu Bewertungen, die sich meist im mittleren Bereich einordnen. Allerdings wird die Sachgerechtigkeit/Neutralität höher bewertet. In der Folge werden die Potenziale, Personen zur Auseinandersetzung mit dem Thema anzuregen oder das Vertrauen in die Arbeit des BfS zu stärken, nicht voll ausgeschöpft. Positiv fällt die Bewertung des Internetartikels zur Rolle des BfS beim Stromnetzausbau aus.

In der Diskussion verweisen die Studierenden auf Mängel beispielsweise bei der Erläuterung von Fachbegriffen oder fehlende Quellenangaben. Auch ergeben sich Hinweise, dass die Titel der Internetartikel nicht ausreichend auf die Inhalte der Texte abgestimmt sind. Sie empfehlen, die Rolle des BfS beim Stromnetzausbau stärker in den Mittelpunkt zu rücken, damit Leser*innen besser erkennen, dass hier keine Wertungen sondern Informationen zum Ziel der eigenen Meinungsbildung gegeben werden.

Die Studierenden schätzen insgesamt ein, dass die Texte des BfS für professionelle Nutzerinnen und Nutzer aus Verwaltungen und Gesundheitsämtern besser geeignet sind als für die Information von Bürgerinnen und Bürgern.

5.5 REPRÄSENTATIVBEFRAGUNG

Die Umfrage umfasste einen Online-Fragebogen, der auf den Erkenntnissen aus den teilnehmenden Beobachtungen basiert und diese hinsichtlich Validität und Generalisierbarkeit prüft. Repräsentativität bedeutet hier, dass die befragten Personen in möglichst vielen, befragungsrelevanten Aspekten ein möglichst genaues Abbild der Personen der Grundgesamtheit der deutschen Wohnbevölkerung darstellen. Bewertet wurden das Video „Stromleitungen und Strahlenschutz“, die Internetartikel „Elektrische und magnetische Felder“ und „Nachgewiesene Wirkungen statischer und niederfrequenter Felder“ und ein Text der Broschüre „Elektrische und magnetische Felder der Stromversorgung“ aus der Reihe „Strahlenschutz Konkret“.

Das Video „Stromleitungen und Strahlenschutz“ wurde von den Teilnehmenden in allen Kategorien durchweg positiv bewertet. Durchschnittlich hat das Video pro Kategorie 92 % „ja“ und „eher ja“ Stimmen erhalten. Auch das Textbeispiel „Was sind elektrische und magnetische Felder?“ aus der Broschüre „Elektrische und magnetische Felder der Stromversorgung“ aus der Reihe „Strahlenschutz Konkret“ wurde in allen Kategorien mit durchschnittlich 91 % “ja“ und „eher ja“ Angaben sehr positiv beurteilt. In der Kategorie „Nutzbarkeit der Grafiken für das Textverständnis“ wurden mit 83 % merklich geringere „ja“ und „eher ja“ Anteile erzielt.

Die Bewertung der Internetartikel „Elektrische und Magnetische Felder“ und „Nachgewiesene Wirkungen statischer und niederfrequenter Felder“ fallen mit durchschnittlich 87 % „ja“ und „eher ja“ Angaben in allen Kategorien ebenfalls gut aus. Beide Texte haben in der Kategorie „Nutzbarkeit der Grafiken für das Textverständnis“ aber merklich weniger „ja“ und „eher ja“ Meinungen bekommen (79 % und 78 %). Mit durchschnittlich 82 % „ja“ und „eher ja“ Meinungen pro Kategorie erhielt der Webseitentext „Grenzwerte ortsfester Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen“ weniger Zuspruch im Vergleich. Sehr gering bewertet wurde die Verständlichkeit mit 72 % „ja“ und „eher ja“ Beurteilungen.

Außerdem werden die Ergebnisse der durchschnittlichen „ja“ und „eher ja“ Angaben pro Kategorie zusammengefasst und verglichen. Alle Kategorien haben mindestens 80 % oder mehr „ja“- und „eher ja“-Anteile erreicht. Die höchsten positiven Bewertungen erhielten die Beispiele in den Kategorien Struktur, Objektivität und Vertrauen (89 - 89 %). Im Vergleich geringeren Erfolg haben die Beispiele in der Kategorie Nutzbarkeit der Grafiken zum Textverständnis erzielt (80 %).

Die meisten positiven Kommentare haben die Befragten zum Video hinterlassen. Hier wurde vor allem auf die Machart und die Länge des Videos bezogen. Auch die Webseite „Elektrische und magnetische Felder“ wurde

Abbildung 1: Verständlichkeit des Inhalts (Darstellung: IZT)

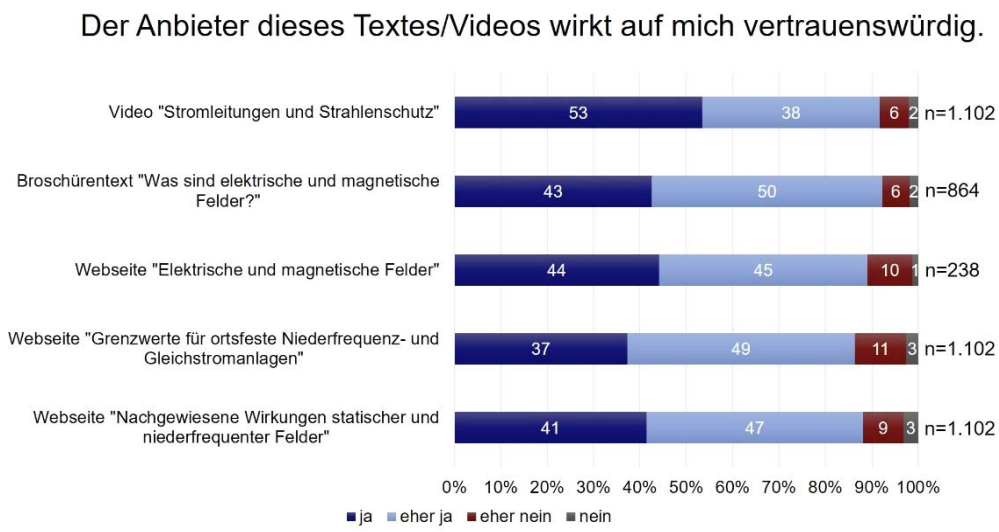


Abbildung 2: Vertrauenswürdigkeit des Inhalts (Darstellung: IZT)

von 74 % aller Befragten positiv kommentiert. Ihnen hat insbesondere Struktur, Übersicht und Sachlichkeit der Webseite gefallen. Insgesamt 40 % der Befragten kritisierten den Inhalt der Seite als zu lang und schwer. Zur Broschüre „Elektrische und magnetische Felder der Stromversorgung“ aus der Reihe „Strahlenschutz Konkret“ formulierten 56 % aller Befragten positive Kommentare. Ihnen sind vor allem Struktur, Übersicht und Sachlichkeit aufgefallen. Insgesamt 21 % der Befragten formulierten Kritik auf Grund von Länge und Schwere des Textes. Auch bei den Internetartikeln „Grenzwerte für ortsfeste Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen“ und „Nachgewiesene Wirkungen statischer und niederfrequenter Felder“ führten je 50 % der Befragten aus, dass ihnen Struktur, Übersicht und Sachlichkeit gefielen. Bei diesen Webseiten wurde jedoch auch häufig Kritik geübt, vor allem mit Bezug zur Länge und Schwere der Texte der Webseite „Grenzwerte für ortsfeste Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen“.

5.6 INTERVIEWS MIT PROFESSIONELLEN NUTZER*INNEN ZUR BEWERTUNG DER NUTZBARKEIT

Die Bewertung des BfS-Angebotes durch professionelle Nutzende fokussierte auf zwei Internetartikel des BfS, und zwar „Nachgewiesene Wirkungen statischer und niederfrequenter Felder“ (für Befragte aus dem me-

dizinischen Bereich) sowie „Strahlenschutz beim Ausbau der Stromnetze“ (für Befragte aus dem Bereich Politik und Verwaltung).

Auf diesen Seiten sind sowohl die Broschüre „Was sind elektrische und magnetische Felder?“ und die Broschüre „Elektrische und magnetische Felder der Stromversorgung“ aus der Reihe „Strahlenschutz konkret“, als auch das Video „Stromleitungen und Strahlenschutz“ abrufbar.

Das Informationsangebot des BfS zum Strahlenschutz beim Stromnetzausbau ist sieben der zehn Befragten aus den Fachkreisen Medizin und Politik/Verwaltung gut bzw. sehr gut bekannt. Während zwei weitere von der Existenz des Angebots wissen, ist es einer Person völlig unbekannt. Diese neun Expert*innen bewerten das Angebot als nützlich für die eigene Arbeit. Sie beurteilen das Informationsangebot als verständlich. Selten weisen die Expert*innen darauf hin, dass es für Menschen mit niedrigerem Bildungsniveau weniger gut geeignet ist. Prinzipiell empfinden acht Personen das Angebot als objektiv und wertneutral, zwei davon allerdings mit gewissen Einschränkungen. Diese acht bestätigen zudem hohe Aktualität. Abgesehen von geringen inhaltlichen Ungenauigkeiten und Fehlern, ist das Angebot aus Sicht von sieben Befragten korrekt. Wiederum sieben Expert*innen gehen davon aus, dass die primäre Zielgruppe des BfS die allgemeine Bevölkerung ist. Eine befragte Person benennt jedoch, auf Grund des Sprachniveaus, eher Fachkreise und Multiplikatoren als wesentliche Zielgruppe. Mit Blick auf diese Zielgruppen bewerten acht Interviewte das Informationsangebot als inhaltlich vollständig. Einige Expert*innen regen an Inhalte zu vertiefen: Elektrosensibilität, Wirkungen auf elektronische Implantate, Hybridleitungen, die Wirkungen einer veränderten Umwelt auf die Psyche und aktuelle Forschungsergebnisse im Themenbereich. Nach Einschätzung von acht der zehn Befragten erfüllt das BfS, abgesehen von kleinen Einschränkungen, die Anforderungen eines behördlichen Informationsanbieters.

5.7 ANALYSE DER ÖFFENTLICHEN AUFTRITTE VON MITARBEITERINNEN DES BFS

In einem weiteren Untersuchungsschritt wurden die Vorträge der BfS-Mitarbeiterinnen insgesamt als informativ und zielführend bewertet. Die Rolle des BfS als unabhängige Behörde wurde deutlich. Verbesserungsbedarfe sind in den Vortragsfolien zu erkennen: Die Schriftgröße der Tabellen sollte vergrößert und Fachtermini umgangen oder zumindest mündlich erläutert werden. In Bezug auf die Verständlichkeit würden weniger Fachbegriffe und eine einfachere Sprache dem fachfremden Publikum dabei helfen, die naturwissenschaftlichen Grundlagen besser zu verstehen. Des Weiteren sollte darauf hingewiesen werden, dass sich die Bürger*innen im Nachgang an die Veranstaltung mit Fragen an das BfS wenden können (via E-Mail, Fax, Brief).

5.8 GESAMTFAZIT

Das Informationsangebot des BfS ist breit gefächert. Es wird im Internet häufig nachgefragt. In Suchmaschinenergebnissen rangieren die BfS-Inhalte auf den vorderen Plätzen. Dies gilt nicht nur für Überblickseiten, sondern für viele Artikel. Diese hohe Zahl an Nutzungen ist einerseits ein Kennzeichen für die langjährige erfolgreiche Arbeit des BfS. Andererseits erwächst daraus auch eine Verpflichtung zur weiteren stetigen Verbesserung.

Die empirischen Ergebnisse ergeben hohe Übereinstimmungen, aber auch Unterschiede. Auffällig ist zunächst die übereinstimmend gute Bewertung des Videos. Die Broschüre folgt mit überwiegend positiven Einschätzungen. Hinsichtlich der Internetartikel zeichnet sich dagegen eine Zweiteilung ab. Vor allem Leser*innen, die beispielsweise im Rahmen der Repräsentativbefragung nur wenige Texte angezeigt bekommen, bewerten diese meist positiv vor allem hinsichtlich Struktur, Übersicht und Sachlichkeit. Hinsichtlich der Verständlichkeit fallen die Bewertungen geringer, aber nicht niedrig aus. In der Regel positiv werden Objektivität und in der Folge die Glaubwürdigkeit des BfS-Angebotes gewertet.

Je länger und genauer dagegen Bürger*innen in den teilnehmenden Beobachtungen die Texte betrachten, desto häufiger fallen ihnen Fachbegriffe, mathematische oder physikalische Inhalte, aber auch vage Formulierungen auf. Sie konstatieren oft einen „Spagat“ zwischen wissenschaftlicher Richtigkeit und Verständlichkeit, aber auch eine Tendenz, in den BfS-Artikeln Sachverhalte in zu langen und komplexen Sätzen oder Texten darzustellen. Konkret werden Fachbegriffe, aber auch fehlende oder nicht aktuelle Quellen auch von Laien bemängelt.

Die Bewertung wird von Fachleuten, einschließlich der Studierenden, geteilt. Oft werden klare Botschaften vermisst und dabei der Widerspruch zum Interesse des BfS, keine eigenständigen Bewertungen abzugeben und die Bewertung den Zielgruppen zu überlassen, nicht erkannt.

Hinsichtlich der Informationsdarstellung werden Verbesserungspotenziale bei Text und Abbildungen deutlich. Insgesamt werden die Texte des BfS häufig als meist für Fachleute erstellt bewertet.

Fachleute aus den Bereichen Gesundheit und Verwaltung bewerten die Veröffentlichungen des BfS als nützlich für ihre Arbeit, meist wertneutral und objektiv. Auch die Außendarstellung des BfS bei Vorträgen wird hinsichtlich der Wirkung beim Publikum als positiv bewertet.

Die Evaluation fokussierte in Experteninterviews gezielt auf Verbesserungsvorschläge. Dies ist im Bezug zu der Anzahl der geäußerten Kritikpunkte zu berücksichtigen, denn alle Expert*innen haben ihre Hinweise auf Verbesserungen hin ausgerichtet. Allerdings gilt auch: Vergleichbare Kritiken wurden in den Befragungen von Bürger*innen oder in den Bewertungen zur Technikkommunikation deutlich. Hier zeichnet sich ein Muster ab, aus dem die Studie konkrete Verbesserungsvorschläge ableitet.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die vom IZT durchgeführte Evaluierung der Texte und Botschaften des BfS aus dem Bereich des Stromnetzausbaus zeigt auf, wo die Vermittlung bereits sehr gut klappt. Sie zeigt aber auch, dass man noch besser werden kann und muss, um auch Zielgruppen zu erreichen, die fachfremd sind.

Thema Umfragen zur Ermittlung der Besorgnis in der Bevölkerung.1. Welchen Stellenwert haben Magnetfelder in der öffentlichen Wahrnehmung des Stromnetzausbaus? Eine deutschlandweite Befragung			
Subject Surveys of concerns in the public. What significance do magnetic fields have in the public perception of the extension of the high-voltage power grid? An overall German survey			
Kennzeichen 3618S82460	**Beginn** 03.07.2018	**Ende** 31.07.2019	**Fördermittel** EUR 106.362,-
Forschungs- / Auftragnehmer aproxima Gesellschaft für Markt- und Sozialforschung Weimar GmbH, Weimar			
Projektleitung S. Götte	**Fachbetreuung BfS** C. Egblomassé-Roidl / WR 5	**verantwortlich für den Text** S. Götte	

1. ZIELSETZUNG

In Deutschland ist der Aus- und Umbau der Stromnetze von großem öffentlichem Interesse, vor allem in den Regionen, die vom Stromnetzausbau direkt betroffen sind. Entlang geplanter Maßnahmen gibt es jedoch zahlreiche Bürgerinitiativen, die sich zum Teil massiv gegen den Leitungsausbau aussprechen. Die Bedenken gegenüber dem Leitungsbau sind in der Bevölkerung äußerst verschieden: Es geht u. a. um die Sinnhaftigkeit des Leitungsbaus, die Gesundheit, den Wertverlust von Immobilien oder die „Verschandelung“ der Landschaft. Die zum Teil intensive Medienberichterstattung nimmt Einfluss auch auf Bevölkerungsgruppen, die nicht direkt vom Leitungsbau betroffen sind.

Bedenken hinsichtlich der potenziellen Risiken, die von den neuen und auch alten Leitungen ausgehen, erfordern eine geeignete Risikokommunikation vonseiten des BfS.

Ziel des Forschungsvorhabens war deshalb eine Erhebung, die die Stimmungs- und Kenntnislage in der Bevölkerung zum Thema gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Magnetfelder bei Hochspannungsleitungen erfasst.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zur Erreichung der Zielsetzungen wurden die folgenden 11 Forschungsfragen formuliert:

- Welche Bedenken sind mit Hochspannungsleitungen verbunden (z. B. ästhetische, monetäre, gesundheitliche Aspekte; Attraktivität der Wohngegend, Landschaft etc.)?
- Wie ist die Risikowahrnehmung im Bereich der niederfrequenten Felder – differenziert nach Installationen im Freien (z. B. Nieder- und Hochspannungsfreileitungen, Erdkabel, Trafostationen, Umspannwerke etc.) und innerhäuslichen Anwendungen (z. B. Haushaltsgeräte, Elektroinstallationen)?
- Welche konkreten Gesundheitsrisiken (Krebs, Schlafstörungen, etc.) werden befürchtet? Worauf begründen sich die Befürchtungen?
- Wie ist die Risikowahrnehmung im Verhältnis zu anderen Gesundheitsrisiken?
- Welche Rolle spielt die Medienberichterstattung für Wahrnehmungen / Einschätzungen?
- Welche Rolle spielt die Sichtbarkeit einer Stromleitung von zu Hause aus? Spielt der Abstand zur Hochspannungsleitung eine Rolle?
- Wie wird der Vorsorgegedanke des BfS verstanden?
- Wie sind das Informationsverhalten und der Kenntnisstand zu dem Thema? Welche Rolle spielt das persönliche Umfeld dabei?
- An welchen konkreten Informationen / Inhalten besteht Interesse? Welche Arten von Informationen werden als hilfreich beurteilt? Werden vor-Ort-Messungen als informativ angesehen?
- Welche innerhäuslichen Maßnahmen / Strategien werden im Umgang mit niederfrequenten Feldern ergriffen (z. B. nächtliche Freischaltung, Stand-by-Betrieb von Geräten versus Abschaltung, energiesparende Geräte)? Wovon hängt die Bereitschaft ab, Maßnahmen zu ergreifen oder Verhalten zu ändern?

- Hängt die Risikowahrnehmung mit Persönlichkeitseigenschaften oder Einstellungen zusammen?

3. METHODIK

3.1 AUFARBEITUNG DES AKTUELLEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

In einem Zwischenbericht wurde der aktuelle Stand der Forschung rekapituliert und auf den geplanten Forschungsgegenstand bezogen. Dies betraf:

- Studien zur Risikowahrnehmung von Hochspannungsleitungen / niederfrequenten Feldern (Schwerpunkt)
- Studien zur Risikowahrnehmung von hochfrequenten Feldern (zusätzlich)
- Studien zur Risikowahrnehmung in anderen Verbraucherbereichen (z. B. Atomkraft, Windkraft, Lebensmittelsicherheit etc.) (zusätzlich)
- theoretische und methodische Konzepte zur Risikowahrnehmung und -kommunikation (zusätzlich)
- generelle Akzeptanz von Hochspannungsleitungen/Stromnetzausbau und ihre Faktoren

Gegenstand dieser Recherchen waren ausschließlich veröffentlichte Quellen. In die Recherchen wurden neben deutschen auch internationale Studien integriert.

3.2 BEVÖLKERUNGSBEFRAGUNG

Die Bevölkerungsbefragung wurde als Telefonbefragung konzipiert. Der Stellenwert der Magnetfelder in der öffentlichen Wahrnehmung des Stromnetzausbaus wurde dabei in einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe erhoben. Diese wurde über eine nach Region und Urbanitätsgrad geschichtete systematische Zufallsauswahl der ADM[1)]-Auswahlgrundlage („ADM-Stichprobe“) erstellt. Die „Dual Frame“-Methodik gewährleistet über eine Einbeziehung von Mobilfunknummern die breitestmögliche Ausschöpfung der Grundgesamtheit. Auf Basis der Haushalte erfolgte die Zufallsauswahl mittels der Last-Birthday-Methode. Der konzipierte Fragebogen hatte eine Durchschnittslänge von ca. 30 Minuten. Es wurden insgesamt N = 2 500 vollständige Interviews erhoben.

3.3 VERTIEFUNGSBEFRAGUNG

Zusätzlich zur Bevölkerungsbefragung wurde eine Vertiefungsbefragung in denjenigen Haushalten durchgeführt, die in der Nähe einer (geplanten) Hochspannungsleitung (HSL) liegen. Als Auswahlkriterium galt die Selbstangabe in der Hauptbefragung, dass die (geplante) HSL im Umkreis von maximal 600 Metern liegt. In der Vertiefungsbefragung wurden Fragen zur Wahrnehmung der konkreten (geplanten) HSL gestellt. Insgesamt wurden N = 200 Interviews erhoben, je N = 100 verteilt auf bestehende und geplante Hochspannungsleitungen. Dabei fand eine Nacherhebung in Gebieten um (geplante) Hochspannungsleitungen statt, da die Stichprobe nicht vollständig aus der Hauptstichprobe rekrutiert werden konnte.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES WISSENSCHAFTLICHEN KENNTNISSTANDES

Die Aufarbeitung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes erfolgte in einem Zwischenbericht. Dazu wurden bisher existierende Studien zu den unter Punkt 3.1 genannten Themen recherchiert und für die Fragestellungen dieser Studie nutzbar gemacht. Daraus entstand eine Synthese von ersten Erkenntnissen zur Forschungsfrage.

4.2 ERSTELLUNG UND PRETEST DER FRAGEBÖGEN

Auf Basis des Zwischenberichts und eigener inhaltlicher Überlegungen wurden die beiden Fragebögen für die Befragungen erstellt. Diese wurden anschließend in einer kleinen Stichprobe von Interviews getestet und leicht überarbeitet. Die Ergebnisse der Tests inklusive der Änderungsvorschläge wurden in Pretest-Berichten festgehalten.

[1)] Arbeitskreis Markt- und Sozialforschungsinstitute e.V.

4.3 DURCHFÜHRUNG DER INTERVIEWS

Zwischen Januar und April 2019 fanden die telefonischen Interviews statt. Sie wurden im Telefonstudio von aproxima unter professioneller methodischer Betreuung und Kontrolle durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

Die 11 eingangs formulierten Forschungsfragen ergaben die folgenden Erkenntnisse.

5.1 WELCHE BEDENKEN SIND MIT HOCHSPANNUNGSLEITUNGEN VERBUNDEN ? (Z. B. ÄSTHETISCHE, MONETÄRE, GESUNDHEITLICHE ASPEKTE; ATTRAKTIVITÄT DER WOHNGEGEND, LANDSCHAFT ETC.)

- **Insgesamt sind kaum Bedenken vorhanden (am ehesten zur Optik), einzig Anrainer*innen zukünftig geplanter Hochspannungsleitung fühlen sich stärker betroffen.**
  In der Gesamtbevölkerung sind mit Hochspannungsleitungen nur wenige Bedenken verbunden. Am stärksten stört die Optik der Leitungen und Masten (15 %). Ein Vergleich der Ergebnisse aus der Gesamtbevölkerung mit denjenigen, die im 1-km-Umkreis von Hochspannungsleitungen leben, zeigt, dass auch dort diese Beeinträchtigungen kaum häufiger wahrgenommen werden (Optik: 13 %). Ist allerdings eine Hochspannungsleitung in Planung, fühlen sich deutlich mehr (30 %) der Anrainer*innen beeinträchtigt.

5.2 WIE IST DIE RISIKOWAHRNEHMUNG IM BEREICH DER NIEDERFREQUENTEN FELDER – DIFFERENZIERT NACH INSTALLATIONEN IM FREIEN (Z. B. NIEDER- UND HOCHSPANNUNGSFREILEITUNGEN, ERDKABEL ETC.) UND INNERHÄUSLICHEN ANWENDUNGEN (Z. B. HAUSHALTSGERÄTE, ELEKTROINSTALLATIONEN)?

Die Risikowahrnehmung wurde für die drei Dimensionen Betroffenheit, Konsequenzen und affektive Aspekte gemessen. Verglichen wurde sie zwischen drei Quellen elektro-magnetischer Felder: Hochspannungsleitungen, Elektroherde und Mobilfunkmasten.

- **18 % der Befragten fühlen sich durch Hochspannungsleitungen betroffen, 36 % sehen negative Auswirkungen und 21 % machen sich Sorgen.**
  Betroffen fühlen sich die Befragten vor allem durch Felder von Elektroherden (37 %) und Mobilfunkmasten (31 %). Für 18 % ergibt sich eine sehr oder eher hohe Betroffenheit durch Hochspannungsleitungen, 46 % sind eher weniger betroffen, 21 % gar nicht. Negative Konsequenzen vermuten die Befragten am wenigsten beim Elektroherd (17 %), eher hingegen bei Hochspannungsleitungen (36 %) und Mobilfunkmasten (37 %). Sorgen um die Felder und deren negative Auswirkungen sind nur bei einer Minderheit der Befragten vorhanden. Am geringsten sind sie bei Elektroherden (8 %), etwas stärker bei Hochspannungsleitungen (21 %) und Mobilfunkmasten (26 %).
- **Die Risikowahrnehmung bei innerhäuslichen Anwendungen ist sehr gering ausgeprägt.**
  Die wenigsten Personen würden auf im Haushalt existierende Geräte verzichten, wenn sich herausstellen würde, dass sie gesundheitsschädlich wären. Am häufigsten wäre dies bei der Mikrowelle (60 %) sowie bei den beiden am seltensten vorhandenen Geräten, Rasierapparat (52 %) und Radiowecker (56 %), der Fall. Nur wenig Verzichtbereitschaft herrscht jedoch bei den am meisten verbreiteten Geräten: Auf das Mobiltelefon würde jede*r Vierte verzichten, auf den Fernseher jede*r Dritte. Den Elektroherd würden 17 % der Besitzer*innen abschaffen, den Computer 22 %.
- **Anrainer*innen geplanter Leitungen halten diese überdurchschnittlich häufig für gesundheitsschädlich.**
  In der Zusatzstichprobe von Anrainer*innen wurden bestehende Leitungen von 6 % als „auf jeden Fall gesundheitsschädlich“ bezeichnet, 37 % hielten sie für „möglicherweise“ und 40 % für „eher nicht gesundheitsschädlich“. Die Anrainer*innen von geplanten Hochspannungsleitungen sind skeptischer. Von ihnen sagen 19 % „auf jeden Fall“ und 39 % „möglicherweise gesundheitsschädlich“.

5.3 WELCHE KONKRETEN GESUNDHEITSRISIKEN (KREBS, SCHLAFSTÖRUNGEN, ETC.) WERDEN BEFÜRCHTET? WORAUF BEGRÜNDEN SICH DIE BEFÜRCHTUNGEN?

- **Schlafstörungen, Kopfschmerzen/Migräne und Konzentrationsstörungen werden teils auf magnetische Felder zurückgeführt, die Inzidenz ist jedoch sehr gering, ein Einfluss durch die Nähe nicht**

vorhanden.
Von den 32 % der Befragten, die in den letzten 12 Monaten Schlafstörungen bei sich beobachten, meinen 13 %, dass sie durch irgendeine Form von magnetischen Feldern verursacht wurden. Kopfschmerzen/Migräne berichten insgesamt 24 % der Befragten, 14 % davon führen sie auf magnetische Felder zurück. Bei den 17 % mit Konzentrationsstörungen tun dies 11 %. In Prozentanteilen an der Gesamtbevölkerung ist die Inzidenz dieser mutmaßlich durch elektromagnetische Felder induzierten Gesundheitsbeschwerden sehr gering: Für Schlafstörungen liegt sie bei 4 %, für Kopfschmerzen/Migräne bei 3 % und für Konzentrationsstörungen bei 2 %. Es zeigt sich nicht, dass diejenigen, die in der Nähe einer Hochspannungsleitung wohnen, häufiger über eine der genannten Beeinträchtigungen berichten als andere.

- **Als Hauptursache werden hochfrequente Felder gesehen.**
  Als Ursachen geben 83 % der Befragten Felder von Mobilfunk, schnurlosem Telefon, WLAN oder der Mikrowelle an. 29 % machten innerhäusliche niederfrequente Felder verantwortlich. Nur 18 % beschuldigten Felder von Hochspannungsleitungen, Trafostationen oder Eisenbahn-/Straßenbahntrassen (außerhäusliche niederfrequente Felder). Vier der sechs Personen aus der Zusatzstichprobe, die Hochspannungsleitungen für auf jeden Fall gesundheitsschädlich halten, gaben an, dadurch Gesundheitsprobleme wie Schlafstörungen, Kopfschmerzen und Konzentrationsprobleme zu haben.

5.4 WIE IST DIE RISIKOWAHRNEHMUNG IM VERHÄLTNIS ZU ANDEREN GESUNDHEITSRISIKEN?

- **Die Sorge um gesundheitliche Auswirkungen von Hochspannungsleitungen ist im Vergleich zu anderen Gesundheitsrisiken vergleichsweise gering.**
  8 % äußerten große Sorgen, 14 % ziemliche Sorgen und 77 % wenig oder gar keine Sorgen. Damit sind Hochspannungsleitungen von allen abgefragten modernen Gesundheitssorgen aus Sicht der Befragten eine der ungefährlichsten. Nur Rundfunksendemasten und Impfungen wurden noch etwas harmloser eingeschätzt (17 bzw. 19 % ziemliche oder große Sorgen). An der Spitze rangieren Gefahren aus dem Nahrungsmittelbereich, wie Nanopartikel, Antibiotika oder Pestizide im Essen, sowie multiresistente Bakterien, wegen denen sich jeweils knapp zwei Drittel aller Befragten ziemliche oder große Sorgen machten. Gefährlicher als Hochspannungsleitungen wurden auch Mobilfunkmasten und Mobiltelefone, also Quellen hochfrequenter Felder, eingeschätzt. Wegen ihnen machten sich etwas mehr als ein Viertel der Befragten ziemliche oder große Sorgen.

5.5 WELCHE ROLLE SPIELT DIE MEDIENBERICHTERSTATTUNG FÜR WAHRNEHMUNGEN/ EINSCHÄTZUNGEN?

- **Hauptinformationsquelle sind Gespräche im eigenen Umfeld, gefolgt von klassischen Massenmedien.**
  Ein Viertel aller Befragten hat schon einmal etwas von niederfrequenten Feldern gehört oder gelesen. Hauptinformationsquellen sind vor allem Gespräche mit Bekannten, Verwandten oder am Arbeitsplatz (42 %), Fernsehen und Radio (38 %), Internet (37 %) sowie Zeitungen/Zeitschriften (34 %).
- **Anrainer*innen sind aktiver bei der Informationssuche.**
  42 % der Anrainer*innen von (geplanten oder existierenden) Hochspannungsleitungen informierten sich bereits aktiv über Hochspannungsleitungen und Gesundheit. Hauptinformationsquelle ist dabei das Internet (44 %), gefolgt von Gesprächen mit Bekannten, Verwandten und am Arbeitsplatz (40 %). Darüber hinaus spielen die klassischen Massenmedien eine Rolle (Zeitungen/Zeitschriften 33 %, Fernsehen/Radio 31 %). Informationen von Bürgerinitiativen oder Informationsveranstaltungen sowie Broschüren oder ähnliche Materialien werden von der Bevölkerung und Anrainer*innen weniger genutzt.

5.6 WELCHE ROLLE SPIELT DIE SICHTBARKEIT EINER STROMLEITUNG VON ZU HAUSE AUS? SPIELT DER ABSTAND ZUR HOCHSPANNUNGSLEITUNG EINE ROLLE?

Der Abstand zu einer Hochspannungsleitung und deren Sichtbarkeit spielen für verschiedene Einstellungen, Verhaltensweisen und Informationsbedürfnisse eine Rolle.

- **Die Betroffenheit nimmt zu.**
  Personen, die im 200-Meter-Umkreis um eine Leitung leben, fühlen sich zu 15 % sehr von den Feldern betroffen. Im Umkreis von 200 bis 600 Metern sinkt der Anteil auf 6 %, in über 600 Metern Abstand liegt er bei 2 %. Ist die Hochspannungsleitung sichtbar, fühlen sich 44 % der Befragten eher oder sehr betroffen, ist sie es nicht, tun dies 23 %.

- **Der Gesundheitszustand wird schlechter eingeschätzt.**
  Befragte, die im Umkreis von 200 Metern um eine Hochspannungsleitung leben, bezeichnen ihren Gesundheitszustand nur zu acht % als ausgezeichnet, zu 26 % als weniger gut oder schlecht. Ist die nächste Leitung weiter entfernt, sinkt diese Gruppe auf 18 %. Auch die Sichtbarkeit der Hochspannungsleitung hat einen ähnlichen, wenn auch etwas geringeren, Einfluss.
- **Gesundheitliche Beeinträchtigungen werden stärker auf Hochspannungsleitung zurückgeführt.**
  32 % derjenigen, die in der Nähe einer Hochspannungsleitung leben, führen ihre Gesundheitsbeschwerden auf solche niederfrequenten Strahlenquellen zurück. Bei denjenigen, die keine Leitung in ihrem Umfeld haben, beträgt dieser Anteil nur 13 %.
- **Es gibt einen stärkeren Wunsch nach Informationen.**
  89 % der Befragten mit einer Wohnung im 1-km-Umkreis um eine Leitung wünschen sich Informationen, welche gesundheitlichen Auswirkungen niederfrequente Felder auf den Menschen haben könnten, andere nur zu 83 %. Ist die Leitung sichtbar, dann ist der Unterschied etwas größer (94 zu 83 %).
- **Die Selbstwirksamkeit bei der Eigenvorsorge (im Bericht Prävention) wird höher eingeschätzt.**
  75 % derjenigen, die im 200-Meter-Umkreis einer Leitung wohnen, meinen, sie können persönlich gesundheitliche Beeinträchtigungen verringern. Bei denjenigen, die mehr als 600 m von der nächsten Hochspannungsleitung entfernt leben, sind es nur 37 %. Die vermutete Selbstwirksamkeit ist auch höher, wenn eine Leitung sichtbar ist (59 zu 38 %).

5.7 WIE WIRD DER VORSORGEGEDANKE DES BFS VERSTANDEN?

- **Die Vorsorgeverantwortung (im Bericht Präventionsverantwortung) liegt beim Staat.**
  Im Durchschnitt gaben die Befragten ihm Platz 1,7 auf einer Rangfolge von 1 bis 4. Deutlich dahinter an zweiter Stelle stehen die Energiewirtschaft (2,2) und die Gerätehersteller (2,4). Als letztes Glied in der Kette sehen die Befragten mit sehr deutlichem Abstand die Bürger*innen selbst (3,6).
- **Die Mehrheit traut den Bundesinstitutionen die größte thematische Kompetenz zu.**
  79 % finden diese sehr oder eher kompetent. Gleiches gilt für Vertreter*innen aus der Wissenschaft. An dritter Stelle stehen die Unternehmen der Energiewirtschaft (64 %), gefolgt von Ärzten (57 %) und Bürgerinitiativen und Selbsthilfegruppen (48 %).
- **Das BfS ist einer Mehrheit der Bürger*innen bekannt.**
  82 % der Befragten kennen das Bundesministerium für Umweltschutz (60 % den Namen und 22 % auch die Aufgaben), gefolgt vom BfS mit insgesamt 68 % (53 % den Namen, 15 % auch die Aufgaben). Das Bundesinstitut für Risikobewertung ist etwas weniger bekannt (38 % den Namen, 7 % die Aufgaben).

5.8 WIE SIND DAS INFORMATIONSVERHALTEN UND DER KENNTNISSTAND ZU DEM THEMA? WELCHE ROLLE SPIELT DAS PERSÖNLICHE UMFELD DABEI?

- **Die subjektive Informiertheit ist relativ gering.**
  52 % der Befragten geben an, „ein bisschen informiert“ zu sein, 21 % fühlen sich gar nicht informiert. Nur ein gutes Viertel besitzt nach eigenen Angaben einen eher oder sehr guten Informationsstand.

5.9 AN WELCHEN KONKRETEN INFORMATIONEN/INHALTEN BESTEHT INTERESSE? WELCHE ARTEN VON INFORMATIONEN WERDEN ALS HILFREICH BEURTEILT? WERDEN VOR-ORT-MESSUNGEN ALS INFORMATIV ANGESEHEN?

Wissenschaftliche Erkenntnisse zu gesundheitlichen Risiken (85 %) und Informationen zu konkreten gesundheitlichen Auswirkungen (84 %) interessierten die Befragten am meisten. An zweiter Stelle stehen Vorsorgemaßnahmen und Grenzwertempfehlungen. Konkrete Messungen in der eigenen Wohnumgebung werden am seltensten gewünscht, wenn auch noch von 67 % der Befragten.

In der Zusatzstichprobe zeigten die Befragten ein eher durchschnittliches Interesse an Vor-Ort-Messungen des Magnetfeldes. Im Umfeld lebende Personen waren zu 15 % sehr und zu 33 % eher interessiert. Wird die Leitung erst geplant, ist das Interesse etwas polarisierter (20 % sehr und nur 22 % eher interessiert). Außerdem gibt es einen deutlich höheren Anteil gar nicht interessierter Personen (26 zu 13 %).

5.10 WELCHE INNERHÄUSLICHEN MAßNAHMEN/STRATEGIEN WERDEN IM UMGANG MIT NIEDERFREQUENTEN FELDERN ERGRIFFEN? WOVON HÄNGT DIE BEREITSCHAFT AB, MAßNAHMEN ZU ERGREIFEN ODER VERHALTEN ZU ÄNDERN?

- **Nur knapp die Hälfte ist der Meinung, eigene Vorsorge (im Bericht Prävention) betreiben zu können.**
  Von denjenigen, die schon einmal von niederfrequenten Feldern gehört oder gelesen haben, sind 45 % der Meinung, sie könnten eigene Vorsorge betreiben, wie z. B. technische Geräte weniger nutzen, bei Nichtnutzung und nachts abschalten. 49 % sehen keine Möglichkeit der Vorsorge und geben als Hinderungsgründe vor allem an, dass man sich niederfrequenten Feldern nicht entziehen könne, dass sie keinen Einfluss auf die Gestaltung der Infrastrukturen und Geräte haben und dass sie auf die Geräte bzw. den Strom angewiesen seien. Bei einer anschließenden vorgegebenen Auswahl bejahten die Befragten am häufigsten die Abschaltung und Nutzung energiesparender Geräte (88 und 83 %). Am wenigsten praktiziert wird die nächtliche Freischaltung des Stromkreises (24 %).

5.11 HÄNGT DIE RISIKOWAHRNEHMUNG MIT PERSÖNLICHKEITSEIGENSCHAFTEN ODER EINSTELLUNGEN ZUSAMMEN?

Einige der erhobenen Einstellungen, Wahrnehmungen und Verhaltensweisen differieren zwischen demographischen Gruppen, vor allem zwischen Alter, Geschlecht und Bildung. Konkret sind diese jeweils im Ergebnisbericht aufgeführt. Sorgen vor den Feldern von Hochspannungsleitungen sind bei weiblichen Befragten etwas verbreiteter als bei männlichen, auch nehmen sie mit steigendem Alter zu. Auch auf den Skalen der drei Dimensionen Betroffenheit, Konsequenzen und negativer Affekt sind die Antworten von Frauen vorsichtiger gegenüber niederfrequenten Feldern als bei Männern. Altersbezogene Differenzen treten hier nur vereinzelt auf.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Der Großteil der Bevölkerung geht mit Hochspannungsleitungen und Haushaltsgeräten so um, dass sie ein Teil ihres Lebens sind. Die Besorgten machen eine Minderheit in der Bevölkerung aus. Diese Minderheit zusammen mit Bürgerinitiativen, die sich prinzipiell gegen den Stromnetzausbau aussprechen, fordern jedoch eine intensive Risikokommunikation.

Es stellte sich - wieder einmal - heraus, dass ein Großteil der Bevölkerung über die elektrischen und magnetischen Felder nicht Bescheid weiß. Grund für diese mangelnde Kenntnis mag am Thema an sich oder an den zum Teil für die Bevölkerung schwer verständlichen Texten liegen. Der Physiklehrstoff in Schulen wird offenbar nicht nachhaltig vermittelt.

Um die Bürger besser zu erreichen, könnten sowohl das BfS als auch das BMU einfachere und evtl. dadurch verständlichere Texte ins Netz stellen. Sie dürften auch nicht zu lang sein, denn nur dann besteht die Aussicht, dass sie auch gelesen werden. Zudem könnte man - ähnlich wie beim Mobilfunk - Unterrichtsmaterialien für verschiedene Jahrgangsstufen anbieten. Das neu errichtete Kompetenzzentrum für EMF wird Schulungen für sogenannte Multiplikatoren im Sinne von Wissensvermittlern und Schlüsselpersonen anbieten. Auch hier kann mit der Tiefe der Texte variiert werden.

Thema Internationaler Workshop zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf die belebte Umwelt **Subject** *International Workshop: Environmental effects of electric, magnetic, and electromagnetic fields: Flora and fauna*			
Kennzeichen 3619I02420	**Beginn** 01.06.2019	**Ende** 31.1.2020	**Fördermittel** EUR 20.754,-
Forschungs- / Auftragnehmer Valentum Kommunikation GmbH, Regensburg			
Projektleitung Dr. B. Pophof	**Fachbetreuung BfS** Dr. B. Pophof, Dr. J. Kuhne, Dr. J. Schmidt / WR 5	**verantwortlich für den Text** Dr. B. Pophof	

1. ZIELSETZUNG

Die Einrichtung zahlreicher neuer Stromnetze im Zuge der Energiewende, der Ausbau der 5G-Technolgie in der Telekommunikation sowie generell die Ausweitung neuer Technologie im Alltag setzen die Umwelt immer stärker elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern aus, deren Wirkungen auf Flora und Fauna nur teilweise bekannt sind. Das führt zunehmend zu Bedenken in der Bevölkerung hinsichtlich gesundheitlicher Auswirkungen sowie möglicher Folgen für Tiere und Pflanzen.

Im Rahmen einer dreitägigen Veranstaltung wurde der aktuelle Forschungsstand mit internationalen Expertinnen und Experten umfassend beleuchtet, um sich der Thematik aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Perspektiven zu nähern, Wissenslücken zu identifizieren und neue Forschungsaufgaben herauszuarbeiten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Unmittelbares Ziel der Veranstaltung war es, zum einen einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand aus unterschiedlichen Perspektiven zu erhalten und zum anderen wichtige neue Gebiete und offene Fragen zu identifizieren, auf deren Grundlage die Forschung fortgeführt werden sollte. Hierfür wurden internationale Referentinnen und Referenten aus verschiedenen Forschungsfeldern nach München eingeladen, um sich der Thematik möglicher Effekte von magnetischen, elektrischen und elektromagnetischen Feldern auf Pflanzen und Tieren anzunähern. Erweitert wurde der Teilnehmerkreis durch weitere Expertinnen und Experten, die den Workshop als Teilnehmende mit ihrem Fachwissen ergänzten.

Der Workshop wurde in vier inhaltlich aufeinander abgestimmte Sessions eingeteilt.

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

3. METHODIK

3.1 VORAUSSETZUNG FÜR DEN WORKSHOP

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

3.2 PLANUNG UND ABLAUF DES WORKSHOPS

Die Aufgaben für die Organisation des Workshops waren in drei Arbeitspakete unterteilt.

- Planung des Workshops (AP 1)
    - Auswahl eines Veranstaltungsortes und des Termins

    - Management der Einladungen und Ankündigungen, Organisation der Pausenversorgung
    - Einrichtung der notwendigen technischen Infrastruktur
    - Einrichtung und Führung eines Tagungsbüros
    - Reisemanagement der Teilnehmenden
    - Organisation eines gemeinsamen Conference Dinners
    - Einladungsversand
- Durchführung des Workshops (AP 2)
    - Unterstützung bei der Einhaltung des Programmablaufs
    - Koordination der Dienstleister vor Ort (Technik, Catering, Conference Dinner)
    - Betreuung der Rednerinnen und Redner sowie Gäste vor Ort (Reisemanagement, Registrierung, Beantwortung von organisatorischen Rückfragen)
- Nachbereitung (AP 3)
    - Fotodokumentation
    - Reisekostenabrechnung
    - Abschlussbericht

3.3 ORGANISATOREN

Die dreitägige Veranstaltung „*International Workshop: Environmental effects of electric, magnetic and electromagnetic fields: Flora and fauna*“ wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz durchgeführt.

Die Organisation und praktische Durchführung wurde durch die Agentur Valentum Kommunikation GmbH unterstützt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 HINTERGRUND

Alleiniger Veranstalter des Workshops, der vom 5. bis 7. November 2019 in München stattfand, war das Bundesamt für Strahlenschutz im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Unmittelbar nach dem Auftaktgespräch am 3. Juli 2019 wurde die Veranstaltungswebseite www.emf-environment-workshop.de eingerichtet. Hier wurden laufend aktuelle Informationen zum Programm und dem Ablauf der Tagung sowie die Möglichkeit zur Registrierung bereitgestellt.

4.2 PROGRAMM

Mit 24 Vorträgen von geladenen Rednerinnen und Rednern aus neun Ländern wurde das Programm des dreitägigen Workshops gestaltet. Zusätzlich ergänzten vier Kurzvorträge von teilnehmenden Gästen das Programm.

Zwischen den Programmpunkten konnte das Publikum Fragen zu den Präsentationen stellen und Probleme oder Streitpunkte diskutieren. Den Abschluss des jeweiligen Veranstaltungstages bildete eine ausführliche Diskussionsrunde. Teilnehmende, Rednerinnen und Rednern sowie Veranstalter tauschten sich hier noch einmal über das Gehörte aus und erörterten gemeinsam Ansatzpunkte für die Weiterentwicklung der Forschung. Auf Basis des erhaltenen Feedbacks wurde die weitere Vorgehensweise erarbeitet.

In den Programmpausen sowie bei einem gemeinsamen Conference Dinner am Abend des zweiten Veranstaltungstags konnten die Gäste den Austausch sowie das Networking im lockeren Rahmen fortsetzen.

Insgesamt nahmen 64 Personen aus 15 Ländern am Workshop teil. Die Teilnahmegebühr betrug 200 Euro, zuzüglich 50 Euro für eine Teilnahme am Conference Dinner.

Program

Tuesday, November 5th

from 11.00 am	Registration | Welcome coffee & snacks
12.00 – 12.15 am	**Official welcome** *(Gunde Ziegelberger, Federal Office for Radiation Protection)*

Session 1: Exposure Assessment and Dosimetry
Chair: Jens Kuhne, Federal Office for Radiation Protection

12.15 – 12.45 am	Low frequency and static electric and magnetic fields – Power lines and cables *Jens Kuhne, Federal Office for Radiation Protection*
12.45 – 1.15 pm	Intermediate frequencies – Possible exposure of animals during wireless car charging *Gernot Schmid, Austria*
1.15 – 1.45 pm	Radiofrequency electromagnetic field exposure from fixed installations like broadcast stations or (5G) mobile radio base stations *Dirk Geschwentner, Federal Office for Radiation Protection*
1.45 – 2.15 pm	Exposure of insects to environmental radio-frequency electromagnetic fields *Arno Thielens, Belgium/USA*
2.15 – 2.45 pm	Coffee break

Session 2: Action mechanisms
Chair: Jens Kuhne, Federal Office for Radiation Protection

2.45 – 3.15 pm	Thermoregulatory response to the heat stress from exposure to RF radiation: Extrapolation from experimental mammals to humans *Christopher Gordon, USA*
3.15 – 3.45 pm	Thermal stress in the NTP-Study *Jens Kuhne, Federal Office for Radiation Protection*
3.45 – 4.15 pm	Role of magnetite in animal orientation: Working hypothesis and experimental evidence *Michael Winklhofer, Germany*
4.15 – 5.00 pm	Towards a mechanistic understanding of anthropogenic magnetic field effects: The Radical Pair mechanism and new insights from spin physics *Daniel Kattnig, UK*

Poster Session

5.00 – 6.00 pm	Equipment related bias in behavioural experiments with magnetic field conditions *Stephan H. K. Eder, Germany*
from 7.00 pm	Informal get-together Wirtshaus in der Au | Lilienstr. 51 | 81669 Munich

Wednesday, November 6th

from 8.30 am	Registration | Welcome coffee & snacks

Session 3: Low frequency electric and magnetic fields: Powerlines and cables

Session 3.1: Effects of electric and magnetic fields on vertebrates
Chair: Blanka Pophof, Federal Office for Radiation Protection

9.00 – 9.30 am	Subsea cables, electromagnetic fields and their potential impact on marine animals *Andrew Gill, UK*
9.30 – 10.15 am	Electromagnetic noise effects on the magnetic compass of night-migratory songbirds via a radical pair mechanism *Henrik Mouritsen, Germany*

10.15 – 10.45 am	Does anthropogenic electromagnetic noise disturb the orientation ability of free-flying birds? *Heiko Schmaljohann, Germany*
10.45 – 11.15 am	Coffee break
11.15 – 11.45 am	A magnetic sense in bats? Evidence and knowledge gaps *Richard Holland, UK*
11.45 – 12.30 am	Magnetoreception in mammals *Pascal Malkemper, Germany*

Session 3.2: Effects of radiofrequency electromagnetic fields on vertebrates
Chair: Blanka Pophof, Federal Office for Radiation Protection

12.30 – 1.00 pm	Effects of electromagnetic fields on dairy cows *Michael Hässig, Switzerland*
1.00 – 2.00 pm	Lunch break

Session 3.3: Effects of electric and magnetic fields on invertebrates
Chair: Blanka Pophof, Federal Office for Radiation Protection

2.00 – 2.30 pm	Electrosensitivity and electric ecology in insects *Daniel Robert, UK*
2.30 - 3.00 pm	Social communication in the honeybee colony with temporal electrostatic field patterns *Benjamin Paffhausen, Germany*
3.00 – 3.15 pm	Insect circadian rhythm responds to weak radiofrequency field *Martin Vácha, Czech Republic*

Session 3.4: Effects of electric and magnetic fields on plants
Chair: Janine Schmidt, Federal Office for Radiation Protection

3.15 – 3.45 pm	The effect of magnetic fields on plant growth development and evolution *Massimo Maffei, Italy*
3.45 – 4.15 pm	Role of cryptochromes in magnetoreception of plants and animals *Margaret Ahmad, France*
4.15 – 5.00 pm	Coffee break

Evening lecture

5.00 – 6.00 pm	Human magnetoreception: Biophysical mechanisms and thresholds *Joseph Kirschvink, USA*
From 7.00 pm	Conference Dinner Hofbräukeller am Wiener Platz | Innere Wiener Straße 19 | 81667 München

Thursday, November 7th

from 8.30 am	Registration | Welcome coffee & snacks

Session 4: Radiofrequency electromagnetic fields – Mobile communications including 5G

Session 4.1: Effects of electromagnetic fields on plants
Chair: Janine Schmidt, Federal Office for Radiation Protection

9.00 –9.30 am	Plant responses to high frequency electromagnetic fields: From gene expression to morphological changes *Alain Vian, France*
9.30 – 9.45 am	The influence of bioactive mobile telephony radiation at the level of a plan community – possible mechanisms and indicators of the effects *Marek Czerwinski, Poland*
9.45 – 10.00 am	Radiofrequency radiation injures trees around mobile phone base stations *Cornelia Waldmann-Selsam, Germany*

Session 4.2: Effects of electromagnetic fields on invertebrates
Chair: Blanka Pophof, Federal Office for Radiation Protection

10.00 – 10.30 am	Risk to pollinators from anthropogenic electro-magnetic radiation (EMR): Evidence and knowledge gaps *Adam Vanbergen, France*
10.30 – 11.00 am	Electromagnetic radiation of mobile telecommunication antennas affects the abundance and composition of wild pollinators *Amparo Lázaro, Spain*
11.00 – 11.30 am	Coffee break
11.30 – 12.00 am	Ecological effects of electromagnetic fields on invertebrates *John Bolte, The Netherlands*
12.00 – 1.00 pm	Discussion: Knowledge gaps and research perspectives *Chair: Blanka Pophof, Federal Office for Radiation Protection*
1.00 – 2.30 pm	Buffet & Adjourn

5. ERGEBNISSE

Für einen Überblick über den während des Workshops präsentierten Forschungsstand wurde ein Abstractband zusammengestellt und im Rahmen der Veranstaltung ausgegeben. Der Workshop hat die Erwartungen erfüllt und einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zu möglichen Wirkungen anthropogener elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf Tiere und Pflanzen geliefert. Auch im Hinblick auf mögliche Wirkmechanismen und Anregungen für weitere Forschung konnten neue Erkenntnisse gewonnen werden. Ein Ergebnisbericht befindet sich auf den Internetseiten des BfS.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Im Nachgang des Workshops wird vom Bundesamt für Strahlenschutz ein gemeinsamer Report mit dem Input der Rednerinnen und Redner in einer Fachzeitschrift veröffentlicht werden. Auf dieser Grundlage werden ggf. weitere Forschungsvorhaben initiiert.

3. STATUSBERICHTE

der vom BfS begleiteten Strahlenschutz-Forschungsvorhaben des BMU

3. STATUS REPORTS

of BfS supported BMU radiation protection research projects

3.1 Themenbereich 01
Natürliche Strahlenexposition

3.1 Subject area 01
Natural radiation exposure

Thema Fünftes Mortalitäts-Follow-Up (Todesursachen-Recherche) der Kohorte von ca. 60.000 Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2018 **Subject** *Fifth mortality follow-up of the cohort of approximately 60,000 former Wismut employees with cut-off date December 31st, 2018*			
Kennzeichen 3618S12222	**Beginn** 01.03.2019	**Ende** 31.05.2021	**Fördermittel** EUR 321.701,-
Forschungs- / Auftragnehmer Kantar Health GmbH, München			
Projektleitung Dr. C. Cholmakow-Bodechtel	**Fachbetreuung BfS** Dr. V. Deffner / WR 3	**verantwortlich für den Text** Dr. C. Cholmakow-Bodechtel, T. Schieferstein, Dr. V. Deffner	

1. ZIELSETZUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) führt eine Kohortenstudie mit ca. 60 000 ehemaligen Beschäftigten der Firma Wismut durch. Ziel ist die Abschätzung des Gesundheitsrisikos durch ionisierende Strahlung, Staub und andere Noxen. Im Abstand von fünf Jahren werden die Daten der Kohortenmitglieder (Vitalstatus und ggf. Todesursache) aktualisiert. Im Rahmen des Ressortforschungsplans wurden bereits vier Mortalitäts-Follow-ups zu den Stichtagen 31.12.1998, 31.12.2003, 31.12.2008 und 31.12.2013 durchgeführt. Im vorliegenden Vorhaben wird in einem fünften Mortalitäts-Follow-up für den Zeitraum 1.1.2014 - 31.12.2018 der Vitalstatus von ca. 29 000 Kohortenmitgliedern der Wismut-Kohortenstudie zum Stichtag 31.12.2018 über Einwohnermeldeämter (EMA) oder Kreisarchive ermittelt. Für die im genannten Zeitraum verstorbenen Kohortenmitglieder wird zudem über Gesundheitsämter und Zentralarchive die Todesursache ermittelt. Dieses fünfte Mortalitäts-Follow-up verlängert den Beobachtungszeitraum der Kohortenstudie um weitere 5 Jahre.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das fünfte Follow-up der Wismut-Kohorte wird durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgt gemäß der Vorgehensweise in den vier vorausgegangenen Follow-ups ohne Personenkontakte und wurde vom BfS datenschutzrechtlich abgestimmt. Alle benötigten Informationen werden über die jeweiligen offiziellen Stellen (EMA, Kreisarchive, Gesundheitsämter und Zentralarchive) erhoben und in eine bereits bestehende Access-Datenbank eingearbeitet.

2.1 ERHEBUNG DES VITALSTATUS

Der Vitalstatus (d. h. die Information, ob Kohortenmitglieder noch leben oder seit dem 1.1.2014 verstorben sind) wird für 28 635 Personen ermittelt.

2.2 ERHEBUNG DER TODESURSACHE FÜR VERSTORBENE PERSONEN

Für alle seit dem 1.1.2014 verstorbenen Personen der Kohorte werden Todeszeitpunkt und Todesursache ermittelt. Die Todesursache wird nach ICD[1)]-10 verschlüsselt.

3. METHODIK

Für 28 635 Kohortenmitglieder, die im vierten Follow-up als lebend ermittelt wurden, werden Auskünfte über ihren Vitalstatus bei den zuständigen EMA der letzten bekannten Adresse zum Stichtag 31.12.2018 eingeholt. Die Rückmeldungen werden wie nachfolgend beschrieben weiterbearbeitet. Ist die angefragte Person „wie angegeben gemeldet“ oder „innerhalb der Gemeinde verzogen“, ist die Recherche für die betreffende Person in diesem Follow-up abgeschlossen. Ist eine Person verstorben, werden Sterbedatum und Sterbeort dokumentiert. Bei Rückmeldung, dass die angefragte Person in eine andere Gemeinde verzogen ist, wird die neue

[1)] Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme

Adresse vermerkt. Es erfolgt eine weitere Anfrage an das für den neuen Wohnort zuständige EMA. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis die Adresse des aktuellen Wohnorts ermittelt werden kann oder die Person als „verstorben“ gemeldet wird. Die Ergebnisse der Recherche werden in der Datenbank dokumentiert.

Für alle Personen, die seit dem 1.1.2014 verstorben sind, wird in einem nächsten Schritt die Todesursache eruiert. Auf Basis der Angaben der EMA (insbesondere der Angaben zu Sterbedatum und Sterbeort) werden die zuständigen Gesundheitsämter gebeten Kopien der Todesbescheinigungen zuzusenden. Aus Gründen des Datenschutzes ersetzen die Gesundheitsämter die Namen auf den Kopien der Todesbescheinigungen durch die Stichprobennummer und versenden diese direkt an das BfS. Der Eingang der Todesbescheinigungen wird in der Datenbank dokumentiert. Die Todesursachen werden anhand der Todesbescheinigung unter Berücksichtigung von Datenschutz und Datensicherheit nach ICD-10 verschlüsselt.

4. DURCHFÜHRUNG

Zum Auftaktgespräch am 28.03.2019 wurden die Adressen der 28 635 Kohortenmitglieder, die am 31.12.2013 noch lebten, und die Adressdaten der Verwaltungssitze sowie die zugehörigen Gemeindekennziffern übergeben. Diese Daten wurden geprüft und miteinander verknüpft. Dafür mussten die Zuständigkeitsbereiche der Ämter nach Neustrukturierungen der Landkreise aktualisiert werden. Erste Voranfragen an die EMA mit mehr als 200 Anfragen nach der bevorzugten Anfrageart (postalisch oder elektronisch) erfolgten im April 2019. Nach Abstimmung der Anschreiben und Formblätter und Eintreffen der Informations-Flyer vom BfS wurden die ersten Anfragen im Juli 2019 versendet. Der Versand der Anschreiben an die EMA erfolgte schrittweise bis August 2019. Die schriftlichen Rückmeldungen wurden laufend erfasst. Um Erfassungsfehler zu minimieren, wurden die Formblätter mit den händisch gemachten Angaben zunächst gescannt und automatisch erfasst. Im zweiten Schritt wurden alle Angaben durch eine speziell dafür ausgebildete Person visuell überprüft. Elektronische Rückmeldungen wurden über die eigens programmierte Import-Funktion direkt in die Datenbank übertragen. Ende 2019 wurden alle bis dahin eingegebenen Rückmeldungen auf Konsistenz und inhaltliche Korrektheit geprüft. Bei Auffälligkeiten wurde die Angabe mit dem Original abgeglichen.

5. ERGEBNISSE

Bisher antworteten 94,2 % der 2 884 angefragten EMA auf die Erstanfrage. Diese Antworten wurden bis Ende 2019 vollständig erfasst. Mit dem Vermerk “als lebend ermittelt“ ist die Recherche bereits für 17 496 Personen (61,1 % der im fünften Follow-up zu recherchierenden Personen) abgeschlossen. Dies trifft auf alle Personen zu, die entweder weiterhin unter der angegebenen Adresse gemeldet oder innerhalb der Gemeinde/Stadt umgezogen sind. 1 687 (5,9 %) Personen sind verzogen. Für diese Personen folgen weitere Anfragen bei den zuständigen EMA. 3 274 (11,4 %) Personen sind bis Ende des Jahres 2019 als „verstorben“ zurückgemeldet worden. Ein sehr kleiner Anteil (0,2 %) der im fünften Follow-up zu recherchierenden Personen waren bis Ende 2019 nicht zu ermitteln, ins Ausland verzogen oder unbekannt verzogen. Ende 2019 steht für 6 118 Personen (21,4 %) die Rückmeldung der EMA noch aus. Von 78,6 % der im fünften Follow-up zu recherchierenden Personen liegt eine erste, z. T. vorläufige Rückmeldung vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Recherche des Vitalstatus für Personen, für die noch keine Rückmeldung von den EMA vorliegt, wird fortgeführt. Mit der Recherche der Todesursache für die Personen, die von den EMA als „verstorben“ zurückgemeldet wurden, wird im Januar 2020 begonnen.

Thema Ermittlung der Unsicherheit in der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte - Teil 2 **Subject** *Determination of uncertainties of radiation exposure assessment in the Wismut cohort - part 2*			
Kennzeichen 3618S12223	**Beginn** 01.01.2019	**Ende** 30.04.2021	**Fördermittel** EUR 320.869,-
Forschungs- / Auftragnehmer Ludwig-Maximilians-Universität München, Institut für Medizinische Informationsverarbeitung, Biometrie und Epidemiologie			
Projektleitung Dr. S. Hoffmann	**Fachbetreuung BfS** Dr. V. Deffner / WR 3	**verantwortlich für den Text** N. Ellenbach	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die in der Wismut-Kohorte auftretenden Unsicherheiten in der Expositionsabschätzung durch Radon und seine Folgeprodukte zu quantifizieren und in der Risikoschätzung für Lungenkrebs durch Radon sowohl für die gesamte Kohorte als auch für die Teilkohorte mit Beschäftigungsbeginn ab 1960 zu berücksichtigen. Dabei sollen die Auswirkungen der verschiedenen auftretenden Unsicherheiten bzw. Messfehler auf die Risikoschätzer beschrieben und nachvollzogen werden. Zusätzlich soll durch die Berücksichtigung der Unsicherheiten die Belastbarkeit der bisherigen Schätzer für das Lungenkrebsrisiko durch Radon in der Wismut-Kohorte beurteilt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 QUANTIFIZIERUNG DER UNSICHERHEITEN (AP 1)

In Arbeitspaket (AP) 1 wird ein Konzept zur Quantifizierung der im vorangegangenen Forschungsvorhaben “Ermittlung der Unsicherheiten in der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte – Teil 1” (3616S12223) identifizierten Quellen für Unsicherheiten in der Expositionsabschätzung für Radon und seine Folgeprodukte in der Wismut-Kohorte erarbeitet und umgesetzt. Zusätzlich wird die Relevanz der verschiedenen Unsicherheiten bewertet und der wissenschaftliche Stand für die Berücksichtigung von Messfehlern mit Proportional-Hazard-Modellen beschrieben.

2.2 ENTWICKLUNG EINER STATISTISCHEN METHODE ZUR BERÜCKSICHTIGUNG DER RELEVANTEN UNSICHERHEITEN IN DER RISIKOMODELLIERUNG (AP 2)

In AP 2 werden die methodischen Grundlagen für die Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der statistischen Risikomodellierung mit Proportional-Hazard-Modellen für die Wismut-Kohorte erarbeitet. Um die komplexe Struktur der Expositionsunsicherheiten in der Wismut-Kohorte abzubilden und zu berücksichtigen, müssen aktuell existierende statistische Methoden erweitert werden. Insbesondere wird ein Messfehlermodell speziell für die Wismut-Kohorte hergeleitet. Außerdem werden die Ziele, das Design und der datengenerierende Prozess der Simulationsstudie beschrieben, die in AP 3 durchgeführt wird.

2.3 SIMULATIONSSTUDIE ZUR SYSTEMATISCHEN UNTERSUCHUNG DER STATISTISCHEN METHODE (AP 3)

Die in AP 2 entwickelte Methode zur Berücksichtigung von Expositionsunsicherheiten in der Risikomodellierung wird in AP 3 implementiert und anhand einer Simulationsstudie untersucht. Die Simulationsstudie orientiert sich an Daten der Wismut-Kohorte und zielt darauf ab, die neu entwickelte Methode mit der naiven Risikoschätzung und mit anderen Verfahren zu vergleichen. Zudem werden die Anwendbarkeit und die praktische Relevanz der entwickelten Methode für die Daten der Wismut-Kohorte überprüft. Außerdem wird in der Simulationsstudie untersucht, inwiefern sich falsche Annahmen sowie Unsicherheiten mit verschieden komplexer Messfehlerstruktur auf die Risikoschätzer in einem Proportional-Hazard-Modell auswirken.

2.4 ANWENDUNG DES ENTWICKELTEN VERFAHRENS AUF DIE DATEN DER WISMUT-KOHORTE (AP 4)

In AP 4 soll die entwickelte Methode zur Berücksichtigung von Unsicherheiten für verschiedene Risikomodelle auf die Daten der Wismut-Kohorte (gesamte Kohorte, Teilkohorte mit Beschäftigungsbeginn ab 1960) angewandt werden. Die berechneten Risikoschätzer für das Lungenkrebsrisiko durch Radon sollen mit den Ergebnissen aus früheren Berechnungen ohne Berücksichtigung von Expositionsunsicherheiten verglichen werden. Abschließend soll die entwickelte Methode hinsichtlich ihrer Eignung für die Wismut-Kohorte sowie ihrer allgemeinen Anwendbarkeit beurteilt werden.

3. METHODIK

Das vorliegende Forschungsvorhaben baut auf dem Forschungsvorhaben “Ermittlung der Unsicherheiten in der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte – Teil 1” (3616S12223) auf. In diesem Vorhaben wurde das Vorgehen der Expositionsabschätzung für Radon und seine Folgeprodukte in der Wismut-Kohorte detailliert beschrieben sowie potenzielle Quellen für Unsicherheiten identifiziert und vorläufig qualitativ bewertet. Für die Entwicklung der statistischen Methode werden Erkenntnisse aus Arbeiten für die französische Uranbergarbeiter-Kohortenstudie genutzt, für die vergleichbare Analysen durchgeführt wurden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 QUANTIFIZIERUNG DER UNSICHERHEITEN

Es wurden geeignete Literaturquellen identifiziert, die eine Abschätzung der Größe bzw. Varianz der Unsicherheiten ermöglichen, die bei der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte auftreten. Dazu wurden insbesondere Berichte des dosimetrischen Dienstes aus dem Unternehmensarchiv der Wismut sowie Literatur zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in der französischen Uranbergarbeiterstudie herangezogen. Die Relevanz der verschiedenen Arten von Unsicherheiten wurde mithilfe eines vom BfS zur Verfügung gestellten gruppierten Datensatzes der Wismut-Kohorte analysiert.

4.2 ENTWICKLUNG EINER STATISTISCHEN METHODE ZUR BERÜCKSICHTIGUNG DER RELEVANTEN UNSICHERHEITEN IN DER RISIKOMODELLIERUNG

Die statistische Methode zur Berücksichtigung der in der Wismut-Kohorte relevanten Expositionsunsicherheiten bei der Risikoanalyse für Lungenkrebs durch Radon soll geeignet sein, die spezielle Struktur der Unsicherheiten als eine Mischung unterschiedlicher Fehlertypen und -größen zu berücksichtigen. Dazu werden schrittweise komplexer werdende Messfehlermodelle entwickelt, die in einem hierarchischen Ansatz mit einem Risikomodell und einem Expositionsmodell kombiniert werden. Die Risikoschätzer und Vertrauensintervalle dieses hierarchischen Modells werden durch Bayes-Inferenz mithilfe eines MCMC-Algorithmus bestimmt.

4.3 SIMULATIONSSTUDIE ZUR SYSTEMATISCHEN UNTERSUCHUNG DER STATISTISCHEN METHODE

Die Daten für die Simulationsstudie werden auf der Basis eines vom BfS zur Verfügung gestellten, fiktiven Datensatzes generiert, der sich an den individuellen Daten der Wismut-Kohortenstudie orientiert. Dabei wird die Exposition durch Radon und seine Folgeprodukte als zeitvariierende Variable betrachtet. Der in AP 2 entwickelte Bayesianische Ansatz zur Berücksichtigung von Messfehlern wird durch die Simulationsstudie mit klassischen Ansätzen wie „*Regression Calibration*“ oder „*Simulation Extrapolation*“ verglichen. Datensituation und Messfehlermodell werden dabei schrittweise komplexer gestaltet.

4.4 ANWENDUNG DES ENTWICKELTEN VERFAHRENS AUF DIE DATEN DER WISMUT-KOHORTE

Sofern die Zustimmung des Bundesbeauftragten für den Datenschutz und die Informationsfreiheit (BfDI) für die Datenübergabe der erweiterten individuellen Kohortendaten vorliegt, wird die in AP 2 und AP 3 entwickelte Methode zur Berücksichtigung von Unsicherheiten für verschiedene Risikomodelle sowohl für die Daten der gesamten Wismut-Kohorte als auch der Teilkohorte mit Beschäftigungsbeginn ab 1960 angewandt. Am Ende von AP 4 wird dem BfS ein Abschlussbericht zu diesem Forschungsvorhaben übergeben.

5. ERGEBNISSE

Zu AP 1 wurde dem BfS ein Zwischenbericht übergeben. Dieser beschreibt für jede Unsicherheitsquelle, die im vorangegangenen Vorhaben als relevant erachtet wurde, ein Konzept zur Quantifizierung und die Größe bzw. Varianz des Messfehlers. Der gruppierte Datensatz der Wismut-Kohorte, der vom BfS zur Verfügung gestellt wurde, wurde um Variablen erweitert, die sowohl die Art der Unsicherheit (Generalisierungsfehler, Zuordnungsfehler, etc.) als auch den Messfehlertyp (klassischer oder Berkson-Fehler) näher charakterisieren und quantifizieren. Im Einklang mit dem vorangegangenen Forschungsvorhaben wurden Generalisierungsfehler und Parameterunsicherheiten als besonders relevant eingestuft. Für jede Methode der Strahlenexpositionsabschätzung wurde ein Messfehlermodell erarbeitet. Diese Modelle beschreiben die Unsicherheiten in der Expositionsabschätzung für verschiedene Regionen (Sachsen, Thüringen), Zeitperioden (Expositionsschätzung durch Experten, Radongasmessung, Messung der Radonfolgeprodukte) und Arbeitsbereiche der Wismut-Beschäftigten (unter Tage, Aufbereitung, Tagebau).

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

AP 2 und AP 3 sind entsprechend der unter 4.2 und 4.3 formulierten Arbeitsschritte in Bearbeitung, hierbei werden die entwickelten Messfehlermodelle detailliert beschrieben und eine Methode zur Berücksichtigung der in der Wismut-Kohorte relevanten Unsicherheiten wird entwickelt und in Python implementiert. Zudem wird die Simulationsstudie vorbereitet. Darüber hinaus stellt das BfS beim BfDI einen Antrag auf Nutzung der erweiterten individuellen Daten der Wismut-Kohorte, um die Datenübergabe für AP 4 vorzubereiten.

Thema Ermittlung der aktuellen Verteilung der Radonkonzentration in deutschen Wohnungen **Subject** *Determination of the distribution of indoor radon concentration in Germany*			
Kennzeichen 3618S12261	**Beginn** 01.11.2018	**Ende** 30.09.2021	**Fördermittel** EUR 670.327,-
Forschungs- / Auftragnehmer Sachverständigenbüro Dr. Joachim Kemski			
Projektleitung Dr. J. Kemski	**Fachbetreuung BfS** Dr. B. Hoffmann / UR 2	**verantwortlich für den Text** Dr. J. Kemski	

1. ZIELSETZUNG

Im Zuge der Umsetzung des neuen Strahlenschutzgesetzes sollen u. a. Regelungen zum Schutz der Bevölkerung vor Radon in Innenräumen getroffen werden. Hierbei ist zunächst eine Bewertung des Ist-Zustandes der Radonexposition der Bevölkerung notwendig. Ziel des Vorhabens ist die Durchführung einer bevölkerungsrepräsentativen Erhebungsmessung zur Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen. Diese soll in 6 000 Wohnungen mit jeweils einer Radonmessung im Wohn- und Schlafzimmer stattfinden. Es sollen Jahresmessungen mit Langzeitexposimetern nach DIN ISO 11665-4 durchgeführt werden. Ergänzend sollen Daten zur Bauweise und Nutzung erhoben werden, ebenso wie Informationen, mit deren Hilfe im Nachgang die Repräsentativität der Erhebung bewertet werden kann. Für alle Phasen der Projektabwicklung ist im Vorfeld ein Datenschutzkonzept zu entwickeln.

2. EINZELZIELSETZUNG

Folgende Einzelziele sollen im Zuge des Vorhabens bearbeitet werden:

- Recherche zum Design bevölkerungsrepräsentativer Studien inkl. Überlegungen zur Teilnehmerauswahl (s. 5.1)
- Erstellung eines Datenschutzkonzeptes (s. 5.2)
- Planung, Organisation und Durchführung der eigentlichen Messungen inkl. abschließender Bewertung und Berichtserstellung (s. 5.3).

3. METHODIK

Im Vorfeld der eigentlichen Messungen soll eine Recherche zur Durchführung repräsentativer Messungen - im besten Fall natürlich zu Radon in der Raumluft – durchgeführt werden. Die Recherche soll als Basis dienen, die eigene geplante Vorgehensweise zu optimieren. Ein wichtiger Punkt hierbei ist die Frage, wie die Repräsentativität der ausgewählten Haushalte/Teilnehmer beurteilt werden kann.

Die Planung, Organisation und Durchführung der Messungen selbst muss schrittweise erfolgen. Bei der praktischen Umsetzung müssen die datenschutzrechtlichen Aspekte berücksichtigt werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Recherche zu repräsentativen (Innenraum-) Messungen wurde durchgeführt. Ebenso wurde das Datenschutzkonzept erstellt und vom Auftraggeber als geeignet bewertet.

Mit der Teilnehmersuche wurde begonnen. Die gewünschte Teilnehmerzahl ist mittlerweile fast vollständig erreicht, so dass die Suche Ende Februar 2020 eingestellt werden soll.

5. ERGEBNISSE

5.1 DESIGN BEVÖLKERUNGSREPRÄSENTATIVER STUDIEN/TEILNEHMERAUSWAHL

Neben der Methodik des nationalen Zensus, der als Grundlage und Referenzdatensatz für verschiedene Erhebungen dient, wurden Beispiele bevölkerungsrepräsentativer Studien aus dem Nicht-Radon- und Radonbereich beschrieben.

Als im weiteren Sinn repräsentativ einzustufende Radonmesskampagnen stammen aus Österreich, Italien und Irland. Der Aufwand – insbesondere personell – für diese Studien war sehr hoch und die Bearbeitungszeit umfasste jeweils mehrere Jahre.

Ein grundsätzliches Problem ist es, eine Datenbasis für eine (am besten zufällige) bevölkerungs- oder haushaltsrepräsentative Auswahl von Messstellen zu finden. Solche Daten (z. B. vollständige Liste der Gesamtbevölkerung) existieren zumeist nicht, so dass Alternativen gesucht werden müssen (z. B. Wählerverzeichnis, Telefonverzeichnis, Gebäuderegister).

Auch in Deutschland existiert kein entsprechend nutzbarer Datenbestand. Daher wurde für das Vorhaben eine kreisbezogene Auswahl von Teilnehmern geplant. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass die gesamte Landesfläche berücksichtigt wird. Die Teilnehmerzahl je Kreis soll proportional der Einwohnerzahl berechnet werden.

Für die Bewertung der Repräsentativität der erhobenen Daten sollen von den Teilnehmern Fragen zum Gebäude beantwortet werden, die unmittelbar mit den Daten des nationalen Zensus zu vergleichen sind.

5.2 DATENSCHUTZKONZEPT

In einem Datenschutzkonzept wurde gemäß des Ablaufplanes die Vorgehensweise schrittweise unter datenschutzrechtlichen Aspekten bewertet. Die einzuhaltenden Randbedingungen bei der Datenerfassung, -verarbeitung und -weitergabe wurden detailliert aufgelistet. Daneben wurden die technisch-organisatorischen Maßnahmen beschrieben. Ein Schwerpunkt lag auf der Erstellung einer Einwilligungserklärung, der die Teilnehmer vor Beginn der eigentlichen Messungen zustimmen mussten.

5.3 MESSUNGEN

Die Organisation und Durchführung der Messungen sowie die Auswertung der Radonmessungen muss schrittweise erfolgen. Die Messungen selbst sind für die Teilnehmer kostenlos.

Zunächst wurden Haushalte mittels eines Mailings über eine Zufallsauswahl aus einer kommerziellen Datenbank angeschrieben. Einschränkende Vorgaben hinsichtlich Region, Gebäude, Bauweise oder Nutzung wurden ausdrücklich nicht gemacht. Grundlage für die Verteilung der 6 000 Haushalte war die Verwaltungsstruktur der Kreise bzw. kreisfreien Städte in Deutschland (ca. 400 Stück). Da auf diese Weise die gewünschte Anzahl von Teilnehmern nicht erreicht wurde, wurde zusätzlich über Aufrufe im Internet und in der überregionalen Presse u. ä. nach Teilnehmern gesucht. In deutlich unterrepräsentierten Gebieten wurden auch gezielte lokale Presseaufrufe geschaltet.

Die Exposimeter werden den Teilnehmern per Post zugeschickt. Die Messungen selbst sollen in Aufenthaltsräumen stattfinden; weitere Vorgaben (z. B. Etage) existieren nicht. Mit der Versendung wurde im Juli 2019 begonnen; die letzten Messgeräte sollen Ende Februar 2020 verschickt werden.

Die Teilnehmer werden gebeten, über die Internetseite des Auftragnehmers Informationen zum Gebäude und den Messräumen zu geben, die später statistisch ausgewertet werden sollen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Entsprechend der Ausbringung und der geplanten einjährigen Messzeit sollen ab Mitte 2020 die Exposimeter sukzessive eingesammelt und im Labor ausgewertet werden. Dies wird bis Frühjahr 2021 dauern. Anschließend sollen die Daten zusammengestellt, aufbereitet und statistisch ausgewertet werden. Hierbei soll auch die Repräsentativität der erhobenen Daten bewertet werden.

Thema

Fortentwicklung von Programmen und Codes zur Modellierungen des Verhaltens von Radon am Arbeitsplatz und Validierung der Codeanpassung

Subject

Code development and validation in order to model the radon distribution at workplaces

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3618S12362	01.07.2018	31.10.2020	EUR 295.841,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH, Berlin

Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text
Dr. A. Filby	Dr. B. Hoffmann / UR2	Dr. A. Filby

1. ZIELSETZUNG

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens ist die Bereitstellung eines Simulationsprogrammes zur Modellierung des Radon-Transports am Arbeitsplatz. Komplexe Transportvorgänge sollen mittels des GRS-Codes COCOSYS simuliert und bewertet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben gliedert sich in mehrere Arbeitspakete:

- Erstellung und Anwendung von Radon-Ausbreitungsmodellen (AP 1)
- Adaption von COCOSYS zur Simulation von Radon-Ausbreitungsvorgängen (AP 2)
- Messung und Datenerhebung (AP 3)
- COCOSYS-Validierung anhand erhobener Messwerte (AP 4)
- Ableitung von Maßnahmen und Handlungsempfehlungen (AP 5)
- Verfolgung und Auswertung des internationalen Standes von Wissenschaft und Technik (AP 6)
- Projektmanagement und Projektcontrolling (AP 7).

3. METHODIK

3.1 ERSTELLUNG UND ANWENDUNG VON RADON-AUSBREITUNGSMODELLEN (AP 1)

In AP 1.1 wurde ein generisches Modell für die Modellierung des Radontransports infolge von Transportprozessen an Arbeitsplätzen entwickelt. Für die Modellierung der Radonausbreitung mit COCOSYS wurde ein entsprechender generischer Datensatz erstellt (AP 1.2). Mittels diesem Datensatz wird die Radonausbreitung berechnet und mit den Ergebnissen aus AP 1.1 verglichen. Aus diesem Vergleich werden notwendige Ergänzungen und/oder Anpassungen von COCOSYS abgeleitet (AP 1.3).

3.2 ADAPTION VON COCOSYS ZUR SIMULATION VON RADON-AUSBREITUNGSVORGÄNGEN (AP 2)

Basierend auf den in AP 1 erhaltenen Ergebnissen wird geklärt, welche Phänomene zu betrachten sind, welche Modelle von COCOSYS für die Simulation der Radon-Ausbreitung in Arbeitsräumen genutzt werden können und welche Anpassungen im Code erforderlich sind.

3.3 MESSUNG UND DATENERHEBUNG (AP 3)

Es erfolgen die Identifikation adäquater zu instrumentierender Gebäude, die Detailplanung der standortspezifischen Instrumentierung und schließlich die Messungen.

3.4 COCOSYS-VALIDIERUNG ANHAND ERHOBENER MESSWERTE (AP 4)

In diesem AP wird mittels der erhobenen Messdaten nach der Anpassung eine Validierung von COCOSYS für die Simulation von Radon-Ausbreitungsprozessen vorgenommen.

3.5 ABLEITUNG VON MAßNAHMEN UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN (AP 5)

Durch die Weiterentwicklung von COCOSYS werden Informationen zum Verhalten von Radon in Gebäuden verfügbar gemacht. Diese werden genutzt, um passive sowie aktive Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration abzuleiten.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERSTELLUNG UND ANWENDUNG VON RADON-AUSBREITUNGSMODELLEN (AP 1)

Zur Auswertung der Daten wurde ein Algorithmus entwickelt, um aus dem Verlauf der gemessenen Radon-Aktivitätskonzentrationen die Quellstärke und Luftwechselrate zu bestimmen. Dies erfolgt über einen abschnittsweisen Fit der Messwerte. Die Daten werden hinsichtlich Streuung und Messunsicherheit analysiert.

Für die Anwendung von COCOSYS zur Simulation von Radon in Arbeitsräumen wurde ein generischer COCOSYS-Datensatz mit 3 Raumzonen erstellt. Radon wird in diese Zonen mit der gegebenen Quellrate eingespeist und die gemessene Luftwechselzahl durch Lüftungen in die Umgebung simuliert. Anhand von Testrechnungen wurden die Modellierungsmöglichkeiten und Anwendungsgrenzen COCOSYS zur Simulation von geringen Gasmassen ausgelotet, wie sie typischerweise bei der Analyse von Rn-222-Verteilung in Gebäuden auftreten. Es konnte bestätigt werden, dass COCOSYS geeignet ist, Rn-222 zu simulieren. Anhand der Ergebnisse wurden notwendige Programmmodifikationen (AP 2) identifiziert, die u. a. auch die Nutzerfreundlichkeit verbessern. Anschließend wurde der Datensatz in Nachrechnungen von Blower-Door-Tests des Ingenieurbüros Haumann verwendet. Dabei wurden Ergebnisse zur Radonkonzentration bei 4 Pa Unterdruck in 2 Objekten ausgewählt. Die COCOSYS-Ergebnisse für die stationäre Rn-222-Konzentration stimmen sehr gut mit den Haumann-Werten überein. In Testrechnungen wurde der Einfluss der Gas-Diffusion auf die Rn-Verteilung untersucht. Es zeigte sich, dass die Diffusionssimulation in COCOSYS nur dann einen relevanten Beitrag liefert, wenn keine nennenswerten (messbaren) Strömungen auftreten.

4.2 ADAPTION VON COCOSYS ZUR SIMULATION VON RADON-AUSBREITUNGSVORGÄNGEN (AP 2)

Im ersten Schritt wurde die aus AP 1 offene Frage geklärt, warum in COCOSYS sehr kleine Einspeiseraten vernachlässigt werden. Als Ursache stellte sich die Initialisierung in den COCOSYS-Zonen während der Integration heraus. Schließlich wurden für die Radon-Simulation zwei Optionen implementiert: die Aufhebung der Null-Setzung der Rn-222-Masse unter Anwendung sehr strenger Fehlerkriterien und als Alternative die COCOSYS-interne Hoch-Skalierung der Rn-Massen. Im Rahmen der Adaption von COCOSYS wurde eine Komponente TRACER_GAS implementiert, die Einspeisung als Aktivitätsquellrate realisiert, eine neue Option für Lüftungssysteme geschaffen, ein Modell zur Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls von TRACER_GAS erstellt und die Ergebnisausgabe von Aktivitätskonzentrationen umgesetzt. Beim radioaktiven Zerfall von Rn-222 ist nur die Massenverringerung berücksichtigt, da die Energiefreisetzung so gering ist, dass sie keinen Einfluss auf die Thermohydraulik hat. Während der Validierungsrechnungen im AP 4 zeigte sich später die Notwendigkeit, die Aktivitätskonzentration als Anfangsbedingung in Zonen vorzugeben.

4.3 MESSUNG UND DATENERHEBUNG (AP 3)

Vom 27.02.2019 bis 11.03.2019 wurde in einem Einfamilienhaus (EFH) in Freital (Sachsen) eine Langzeitmessung durchgeführt. Eine weitere Langzeitmessung (14 Tage) wurde dort ab dem 20.08.2019 durchgeführt. Neben der Radon-Aktivitätskonzentration wurden diverse weitere relevante Parameter aufgezeichnet. Weiterhin wurde die erste Langzeitmessung im Wasserwerk Beelitzhof (Berlin) durchgeführt. Mit Hilfe der in AP 1.1 entwickelten Algorithmen wurden die Quellstärken und Luftwechselraten aus diesen Messdaten gewonnen. Diese dienen als Inputdaten für die COCOSYS-Simulationen.

4.4 COCOSYS-VALIDIERUNG ANHAND ERHOBENER MESSWERTE (AP 4)

Die Arbeiten wurden mit offenen Nachrechnungen der im AP 3 erhobenen Messdaten zum EFH in Freital begonnen. Es wurde ein COCOSYS-Datensatz erstellt, dessen Fokus zunächst auf die Simulation des Bade-

zimmers gelegt wurde. Die Randbedingungen Rn-Quellstärke und Luftwechselzahl basieren auf den erhobenen Messdaten. Mit Hilfe von Variantenrechnungen wurde der Einfluss von Modelloptionen und Randbedingungen auf die Rn-222-Aktivitätskonzentration innerhalb der ersten Messphase von 13 h analysiert. Als Konsequenz dieser ersten Rechnungen erfolgte eine detailliertere Auswertung der Messdaten, in deren Ergebnis jetzt für einzelne Messphasen (Nacht- und Tagesgänge der ersten 4 Tage) präzisierte Quellraten und Luftwechselzahlen vorliegen. Die damit durchgeführte COCOSYS-Rechnung für den ersten 24-Stundengang zeigt eine gute Übereinstimmung mit der Messung.

5. ERGEBNISSE

Es wurden Messungen hinsichtlich der Radon-Aktivitätskonzentration in drei Objekten (ein Einfamilienhaus mit/ohne Arbeitsplatz und ein Wasserwerk) durchgeführt. Ein Algorithmus wurde entwickelt, mit dem sich für die Modellrechnungen mit COCOSYS relevante Inputdaten aus den Messdaten bestimmen lassen. Auf Basis der Nachrechnung der Daten vom Ingenieurbüro Haumann und insbesondere der bislang erfolgten Validierungsrechnungen anhand der von der GRS ermittelten Daten (bisher zum EFH mit Arbeitsplatz) wird die Schlussfolgerung gezogen, dass COCOSYS geeignet ist, Rn-222-Aktivitätskonzentrationen in Raumsystemen zu berechnen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im Frühjahr 2020 wird eine Langzeitmessung in einem weiteren EFH mit erhöhten Radon-Aktivitätskonzentrationen durchgeführt. Eine weitere Messung in diesem Objekt ist geplant. Aktuell wird an einer Veröffentlichung der bisher gefundenen Ergebnisse gearbeitet. Die COCOSYS-Nachrechnungen zur Validierung anhand von der GRS aufgenommener Messdaten werden fortgesetzt. Bezüglich des EFH mit Arbeitsplatz wird die Modellierung erweitert, so dass der angrenzende Flur mit in die Simulation einbezogen wird. Die Arbeiten des AP 5 werden im 2. Quartal 2020 aufgenommen. Der Abschlussbericht wird parallel zu den laufenden Untersuchungen verfasst.

Thema Entwicklung von Indikatoren in einem Kriterienkatalog und Durchführung einer Ersterhebung zur Feststellung der Ist-Situation für die Bewertung des nationalen Radonmaßnahmenplans **Subject** *Development of indicators in a catalogue of critera and initial survey of the actual situation of the national radon action plan*			
Kennzeichen 3619S12272	**Beginn** 01.08.2019	**Ende** 07.01.2022	**Fördermittel** EUR 160.158,-
Forschungs- / Auftragnehmer Öko-Institut e.V., Büro Darmstadt			
Projektleitung C. Küppers	**Fachbetreuung BfS** J. Kaschubowski / UR 2	**verantwortlich für den Text** C. Küppers	

1. ZIELSETZUNG

Mit dem Strahlenschutzgesetz wurden 2017 neue Regelungen geschaffen, durch die die Risiken für die Gesundheit, die vom Radon und seinen Folgeprodukten ausgehen, reduziert werden sollen. Das Gesetz legt insbesondere einen Referenzwert für die Radonaktivitätskonzentration in Innenräumen und an Arbeitsplätzen (darunter auch öffentliche Gebäude) von 300 Bq/m³ fest. Wird dieser Wert überschritten, sollen Maßnahmen zur Reduzierung ergriffen werden. Durch die Bundesländer sind Gebiete festzulegen, in denen in vielen Gebäuden eine hohe Radonkonzentration zu erwarten ist. In diesen Gebieten gelten dann besondere Schutzvorschriften.

Wie vom Strahlenschutzgesetz vorgegeben wurde ein Radonmaßnahmenplan entwickelt, der Maßnahmen und Ziele für den Prozess der Reduzierung der Exposition durch Radon enthält. Die Maßnahmen umfassen u. a. die Öffentlichkeitsarbeit zur Sensibilisierung der Bevölkerung, die weitere Erfassung der Radonsituation, Untersuchungen zur Wirksamkeit bautechnischer Maßnahmen bei Neubauten und Bestandsbauten sowie die Förderung solcher Maßnahmen. Der Maßnahmenplan soll evaluiert und regelmäßig aktualisiert werden.

Das Forschungsvorhaben dient dem Zweck, die Grundlagen zu erstellen, damit die Evaluierung nach objektivierten Maßstäben vorbereitet und durchgeführt werden kann.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben gliedert sich in drei Einzelzielsetzungen.

2.1 ENTWICKLUNG VON INDIKATOREN FÜR DIE EVALUATION DES RADONMAßNAHMENPLANS

Es sollen Indikatoren entwickelt werden, anhand derer der Erfolg der Umsetzung der einzelnen Maßnahmen des Radonmaßnahmenplans bewertet werden kann.

2.2 ERMITTLUNG DES STATUS QUO DER ZUSTÄNDIGEN BEHÖRDEN

Durch das Strahlenschutzgesetz werden bestimmte Aufgaben des Radonschutzes in die Verantwortlichkeit „zuständiger Behörden“ gelegt. Um einen Vergleichsmaßstab für den zukünftig erreichten Stand der Umsetzung der geplanten Maßnahmen zu erhalten soll der Status quo dieser Behörden im Bezug auf ihre Aufgaben ermittelt werden.

2.3 ERMITTLUNG DES STATUS QUO IN DER BEVÖLKERUNG

Die Sensibilisierung der Bevölkerung für das Thema Radonschutz und die entsprechende Kenntnisvermittlung sind wichtige Bestandteile des Radonmaßnahmenplans. Um den Umfang erzielter Fortschritte bewerten zu können soll diesbezüglich der Status quo ermittelt werden.

3. METHODIK

Es werden drei Sätze von Indikatoren für die Evaluation des Radonmaßnahmenplans entwickelt. Die Indikatoren sind dabei objektiv feststellbare Größen. Die Indikatorensätze unterscheiden sich insbesondere je nach Zeitpunkt, wann eine Abfrage erfolgt und ein Ziel erreicht sein soll, sowie je nach Ausmaß des erzielten Fortschritts, das als Voraussetzung einer erfolgreichen Umsetzung des Plans gelten soll. Die drei Indikatorensätze stellen insgesamt unterschiedlich hohe Anforderungen. Einer dieser Sätze kann für die Evaluation ausgewählt werden.

Der Status quo bezogen auf die zuständigen Behörden wird durch eine Befragung ausgewählter Personen solcher Behörden erhoben. Der Status quo bezogen auf die Bevölkerung wird durch eine repräsentative Umfrage in Radongebieten ermittelt.

4. DURCHFÜHRUNG

Der Radonmaßnahmenplan wurde im Hinblick auf die Interdependenzen der einzelnen Maßnahmen, auf die Akteure und Zielgruppen der Einzelmaßnahmen sowie auf die zeitliche Abfolge bei seiner Abarbeitung analysiert. Es wurden Indikatoren zur Evaluation des Radonmaßnahmenplans entwickelt.

5. ERGEBNISSE

Für die Evaluation des Radonmaßnahmenplans wurden als Prüfkriterien Indikatoren entwickelt. Dabei handelt es sich um kurzfristige Indikatoren für die Anwendung in drei bis fünf Jahren, um langfristige Indikatoren für die Anwendung in etwa 10 Jahren sowie um Indikatoren, die der regelmäßigen Erhebung und Dokumentation einer Datenbasis für die Evaluation dienen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Zur Analyse des Radonmaßnahmenplans und zu den Indikatoren wird ein Zwischenbericht erstellt, der Anfang 2020 vorgelegt wird. Die Befragungen von Personen der zuständigen Behörden erfolgen im Laufe des Jahres 2020. Die repräsentative Umfrage in der Bevölkerung ist für 2021 geplant.

3.2 Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

3.2 Subject area 02
Radiation protection techniques

Thema

Studie über die Notwendigkeit, Möglichkeit und Machbarkeit der Ablösung von hochradioaktiven Strahlenquellen durch alternative Technologien in Deutschland

Subject

Study about the necessity, possibility and feasibility to supplant technologies using high-activity sealed sources with alternative technologies (not using ionising radiation)

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3618S22363	01.11.2018	01.06.2020	EUR 162.042,-

Forschungs- / Auftragnehmer
TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG, Hannover

Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text
O. Mende	U. Häusler / MB 6	O. Mende, U. Häusler

1. ZIELSETZUNG

Die Verwendung von hochradioaktiven Strahlenquellen (HRQ) birgt eine ernstzunehmende radiologische Gefahr, die möglicherweise durch alternative Technologien ohne radioaktive Strahlenquellen signifikant verringert werden kann. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, die Notwendigkeit, die Möglichkeit und die Machbarkeit der Ablösung von hochradioaktiven Strahlenquellen durch alternative Technologien in Deutschland zu prüfen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Es werden sowohl die aktuellen Anwendungsbereiche von HRQ als auch die technisch möglichen und verfügbaren Alternativtechnologien dargestellt. Abschließend wird je Anwendungsbereich ein Vergleich zwischen der HRQ-Technologie und den Alternativtechnologien im Hinblick auf die Einsatzfähigkeit und die Kosten durchgeführt.

2.1 ERSTELLUNG EINER ÜBERSICHT ÜBER DIE ANWENDUNGSBEREICHE VON HRQ

Im Rahmen des Arbeitspakets (AP)1 werden die Anwendungsbereiche von HRQ, deren Einsatzbedingungen, die dabei verwendeten Radionuklide und Aktivitäten samt der chemischen und physikalischen Form des eingesetzten radioaktiven Materials dargestellt. Dabei wird auch eine grobe Risikoabschätzung in Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen vorgenommen.

2.2 ERSTELLUNG EINER ÜBERSICHT ÜBER MÖGLICHE ALTERNATIVE TECHNOLOGIEN

Die Ermittlung von möglichen und verfügbaren Alternativtechnologien erfolgt im AP2. Dabei wird je HRQ-Anwendungsbereich untersucht, ob Alternativtechnologien ohne den Einsatz von radioaktiven Stoffen oder solche mit geringerem radiologischen Risiko verfügbar sind und ob dies technisch umsetzbar ist.

2.3 VERGLEICH DER KONVENTIONELLEN RADIOAKTIVEN TECHNOLOGIEN MIT DEN ALTERNATIVEN NICHT-RADIOAKTIVEN TECHNOLOGIEN

Im abschließenden AP 3 werden je Anwendungsbereich die Alternativtechnologien mit der konventionellen HRQ-Technologie verglichen. Die dabei berücksichtigten Kriterien umfassen die technische Umsetzbarkeit, die Gleichwertigkeit im Hinblick auf den Nutzen der Technologie und die Kosten für die Verwender der HRQ.

3. METHODIK

Die Untersuchung basiert im Allgemeinen auf Literatur- und Datenbankrecherchen sowie auf Befragungen von Herstellern, Anwendern und Verbänden.

Zur Ermittlung der in Deutschland relevanten Anwendungsbereiche von HRQ wurden die (zuvor anonymisierten) Erstmeldungen von HRQ im Register über hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) des Bundes-

amts für Strahlenschutz analysiert. Zusätzlich wurden bereits veröffentlichte nationale und internationale Untersuchungen zur Verwendung von HRQ herangezogen.

Zur Ermittlung der physikalischen und chemischen Form der verwendeten HRQ wurden Unterlagen von Quellenherstellern (insbesondere Quellenzertifikate) sowie die entsprechenden Einträge im o. g. HRQ-Register und im International Catalogue of Sealed Radioactive Sources and Devices (ICSRS) der IAEA verwendet.

Die konkreten Anwendungsbedingungen von HRQ wurden durch Befragungen von Anwendern sowie im Rahmen selbstständig durchgeführter Begehungen an den Einsatzorten ermittelt.

Die Ermittlung von Alternativtechnologien erfolgte einerseits durch eine Recherche bei möglichen Herstellern von diesen Technologien und bei Industrieverbänden wie z. B. der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung. Dabei wurden auch nationale Normen sowie internationale Studien zu möglichen Alternativtechnologien herangezogen. Andererseits wurden Anwender von HRQ gezielt hinsichtlich schon genutzter oder eventuell geplanter Ersatztechnologien befragt.

4. DURCHFÜHRUNG

Im Berichtszeitraum wurden die Arbeitspakete 1 und 2 gemäß der unter Abschnitt 3 beschriebenen Methodik bearbeitet. Die Ergebnisse wurden durch jeweils einen Zwischenbericht dokumentiert.

5. ERGEBNISSE

Die Anwendungsbereiche von HRQ in Deutschland sind Tabelle 1 und 2 zu entnehmen. Tabelle 3 zeigt mögliche alternative Technologien von HRQ.

Tabelle 1: Anteil der HRQ in Deutschland (Stand: 26.02.2019)

Anwendungsbereich	Anteil der HRQ in Deutschland
Großkammerbestrahlung	50,9 %
Teletherapie	22,0 %
Prozessüberwachung	10,4 %
Gammaradiographie	10,2 %
Brachytherapie	2,5 %
Forschung	1,3 %
Kleinkammerbestrahlung	1,2 %
sonstige	1,0 %
Bohrlochuntersuchungen	0,4 %
Kerntechnik	0,1 %

Tabelle 2: Anwendungsgebiete und typische Eigenschaften von HRQ

Anwendungs-bereich	typische Nuklide	typische Aktivitäten je Quelle in GBq	typische physikalische/ chemische Form	typischer Verwendungszweck
Großkammer-bestrahlung	Co-60	370 000	metallisch	Sterilisation, Vernetzung
Teletherapie	Co-60	1 000	metallisch	Strahlentherapie
Prozess-überwachung	Cs-137	185 bis 1 850	Cäsium-Chlorid/-Sulfat als gepresstes Pulver	Messungen von Füllstand, Dicke, Feuchtig-keit oder Durchfluss
	Am-241	111 bis 185	Americium-Oxid als gepresstes Pulver	
Gamma-radiographie	Se-75	3 000 bis 7 400	metallisch/mineralisch oder in Pulverform	zerstörungsfreie Werk-stoffprüfung
	Ir-192	1 500 bis 5 000	metallisch	
Brachy-therapie	Ir-192	370	metallisch	Strahlentherapie
Forschung	Co-60	50 bis 15 000	metallisch	Forschung
	Sr-90	2 000	Strontium-Oxid oder Strontium-Carbonat	
	Cs-137	200 bis 50 000	Cäsium-Chlorid als gepresstes Pulver	
Kleinkammer-bestrahlung	Cs-137	30 000 bis 120 000	Cäsium-Chlorid als gepresstes Pulver	Sterilisation
Bohrlochunter-suchungen	Am-241 / Be	185	Americium-Oxid als gepresstes Pulver	Untersuchung von Lager-stätten

Tabelle 3: Mögliche Alternativtechnologien und Bewertungskriterien je Anwendungsbereich

Anwendungs-bereich	Alternativtechnologien	Bewertungskriterien
Großkammer-bestrahlung	Röntgenanlagen, Linearbeschleuniger, thermische Sterilisation, chemische Sterilisation	Produktkompatibilität, Dosishomogenität, Produktbeeinträchtigung, Kosten, Volumendurchsatz, Verfügbarkeit, Sicherheit des Personals
Teletherapie	Elektronenbeschleuniger, Protonenbeschleuniger	medizinische Effektivität, Kosten, Patientendurchsatz, Personalqualifikation, Sicherung gegen unbefugten Gebrauch
Prozess-überwachung	Schwimmer, Röntgenanlagen, Laserrückstreumessungen, Radarmessungen, induktive Messungen, kapazitive Messungen, hydrostatische Messungen	Kosten, Genauigkeit, Messgutbedingungen, äußere Bedingungen, Möglichkeit der kontaktlosen Messung
Gamma-radiographie	Röntgenanlagen, Linearbeschleuniger, aktive Thermographie, Ultraschallprüfungen	Kosten, Prüfgeschwindigkeit, Umgebungsbedingungen, Abhängigkeit vom Prüfobjekt, Verfügbarkeit von Normen
Brachytherapie	Low-Dose-Rate-Brachytherapie, Intra-Operative Röntgentherapie, e-Brachytherapie, Intra-Operative e-Therapie, Teletherapie	medizinische Effektivität, Kosten, Strahlenschutz des Personals
Kleinkammer-bestrahlung	UVA-Licht-Bestrahlung, Röntgenanlagen, Linearbeschleuniger	Kosten, Dosishomogenität, Bestrahlungsdauer, Ausfallzeiten, Vergleichbarkeit
Bohrloch-untersuchungen	Neutronengeneratoren	Maximale Verwendungsdauer, Ausfallsicherheit, Kombinationsmöglichkeiten, Vergleichbarkeit, Sicherung gegen unbefugten Gebrauch

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im Jahr 2020 ist die Bearbeitung von AP 3 „Vergleich der konventionellen radioaktiven Technologien mit den alternativen nicht-radioaktiven Technologien“ inklusive eines Votums bzw. einer Prognose zur Umsetzung für die einzelnen Alternativen in den jeweiligen Anwendungsbereichen geplant.

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

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

Thema			
Strahlenresistenzmechanismen in Tumorstammzellen			
Subject			
Mechanisms of radioresistance in cancer stem cells			
Kennzeichen 3616S32262	**Beginn** 01.01.2017	**Ende** 31.08.2019	**Fördermittel** EUR 393.886,-
Forschungs- / Auftragnehmer GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Darmstadt			
Projektleitung Dr. C. Hartel	**Fachbetreuung BfS** Dr. S. Hornhardt / WR 1	**verantwortlich für den Text** Dr. C. Hartel	

TB 03

1. ZIELSETZUNG

Strahlenresistenz stellt ein großes Problem bei der Tumortherapie dar. Insbesondere Tumorstammzellen können sehr strahlenresistent sein und dadurch zum Auftreten von Tumorrezidiven führen. Im Forschungsvorhaben werden daher die Strahlenresistenzmechanismen in Gliom-/Glioblastomstammzellen untersucht. Dabei wird die Wirkung von Röntgenstrahlung (dünn ionisierend) mit der von beschleunigten Kohlenstoffionen (dicht ionisierend) verglichen. Da Kohlenstoffionen insbesondere bei strahlenresistenten Zelltypen eine hohe relative biologische Wirksamkeit (RBW) verglichen mit Röntgenstrahlung zeigen, könnten sie geeignet sein, die intrinsische Strahlenresistenz von Gliomstammzellen zu überwinden. Im Forschungsvorhaben werden verschiedene In-vitro-Experimente mit humanen Gliomstammzelllinien durchgeführt, um die Strahlenwirkung auf zell- und molekularbiologischer Ebene zu untersuchen. Die Zellen werden bestrahlt und es wird mittels Tumorsphärenassay überprüft, ob die Strahlenresistenz gleichermaßen bei dicht und dünn ionisierender Strahlung besteht. Weiterhin sollen geeignete Tumorstammzellmarker identifiziert und deren Expression nach Bestrahlung analysiert werden sowie die Zellzyklusverteilung, DNA-Reparatur, Zytogenetik und Genexpression der Gliomstammzelllinien näher untersucht werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Einzelzielsetzungen der im Berichtszeitraum bearbeiteten Arbeitspakete werden im Folgenden näher erläutert.

2.1 BESTRAHLUNGSEXPERIMENTE

Das Arbeitspaket Bestrahlungsexperimente soll sich über die gesamte Projektlaufzeit erstrecken und die koordinierte und einheitliche Durchführung aller Bestrahlungsexperimente für die anderen Arbeitspakete sicherstellen. Einheitliche Bestrahlungsbedingungen gewährleisten die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der anderen Arbeitspakete.

2.2 ZYTOGENETISCHE CHARAKTERISIERUNG UND STABILITÄT DER ZELLEN

Tumorzellen enthalten meist zahlreiche Chromosomenaberrationen. Dabei treten bestimmte Aberrationen bei einer Tumorart gehäuft auf, bei Glioblastomen z. B. eine Amplifikation von Chromosom 7 und eine Deletion von Chromosom 10. Die In-vitro-Kultur von Zelllinien kann zur Ansammlng zusätzlicher Chromosomenaberrationen führen. Die drei verwendeten Gliom-/Glioblastomstammzelllinien sollen daher zytogenetisch charakterisiert und das Ausmaß strahleninduzierter Chromosomenveränderungen untersucht werden.

2.3 GENEXPRESSIONSANALYSEN

Tumorstammzellen sind definitionsgemäß Tumorzellen mit Stammzelleigenschaften. Das Genexpressionsmuster der Gliom-/Glioblastomstammzelllinien soll untersucht und mit dem Muster neuraler Stammzellen verglichen werden, um Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten zwischen Tumor- und Normalgewebestammzellen herauszuarbeiten. Weiterhin soll der Einfluss von Bestrahlung auf die Genexpression überprüft werden. Mindestens ein Gen soll daraufhin ausgewählt und dessen Expression unterdrückt werden, um seinen Einfluss auf die Stammzelleigenschaften zu überprüfen.

3. METHODIK

Drei Gliom-/Glioblastomstammzelllinien wurden unter serumfreien Stammzellbedingungen als Tumorsphären kultiviert. Es wurden Genexpressionsanalysen sowie zytogenetische Untersuchungen an unbestrahlten und bestrahlten Zellen durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 BESTRAHLUNGSEXPERIMENTE

Die Zellen wurden mit Röntgenstrahlen oder beschleunigten Kohlenstoffionen bestrahlt. Für alle Arbeitspakete wurden die gleichen Bestrahlungsbedingungen (250 kV Röntgenstrahlung sowie Extended Bragg-Peak Kohlenstoffionen mit einem linearen Energietransfer von 60-95 keV/µm) verwendet. Es wurden Dosen im Bereich von 0-12 Gy verwendet. Die Zellen wurden vor Bestrahlung vereinzelt und nach Bestrahlung in geeigneter Dichte in Zellkulturflaschen ausgesät und vermehrt.

4.2 ZYTOGENETISCHE CHARAKTERISIERUNG UND STABILITÄT DER ZELLEN

Es wurden Chromosomenpräparate hergestellt und mit der *Multiplex Fluorescence in situ Hybridization* (M-FISH)-Methode analysiert. Nach Bestrahlung wurde sowohl die M-FISH-Methode als auch die 2-Farb-FISH-Methode verwendet.

4.3 GENEXPRESSIONSANALYSEN

Transkriptom-Analysen wurden mit Gliom-/Glioblastomstammzellen und neuralen Stammzellen durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Analysen wurden vielversprechende Gene ausgewählt und deren Expression durch einen siRNA-vermittelten Knockdown herunterreguliert und die Auswirkung auf Wachstum und Bestrahlungsreaktion untersucht.

5. ERGEBNISSE

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der im Berichtszeitraum bearbeiteten bzw. fertig gestellten Arbeitspakete dargestellt.

5.1 BESTRAHLUNGSEXPERIMENTE

Die Bestrahlungsexperimente wurden erfolgreich durchgeführt und bildeten die Grundlage für die anderen Arbeitspakete, in denen der Einfluss von Strahlung auf verschiedene Eigenschaften der Gliom-/Glioblastomstammzelllinien untersucht wurde. Die Ergebnisse werden in den jeweiligen Arbeitspaketen beschrieben.

5.2 ZYTOGENETISCHE CHARAKTERISIERUNG UND STABILITÄT DER ZELLEN

Die Chromosomenanalyse zeigte, dass alle drei verwendeten Zelllinien zahlreiche strukturelle und numerische Chromosomenaberrationen trugen. Es wurden innerhalb jeder Zelllinie mehrere Subpopulationen (d. h. Zellen mit gleichem Aberrationsmuster) identifiziert, darüber hinaus aber auch spontan auftretende Aberrationen (d. h. zusätzliche Aberrationen, die nur in einzelnen Zellen vorkamen). In zwei der drei verwendeten Zelllinien traten spontane Aberrationen in weniger als 10 % der Zellen auf, bei der dritten Zelllinie enthielten über 80 % der Zellen spontane Aberrationen. Für die Zelllinie wurde zur Analyse der Strahleneffekte die robustere 2-farb-FISH-Technik an Stelle der M-FISH-Färbung verwendet. In allen drei Zelllinien stieg die Aberrationsrate durch Bestrahlung mit Röntgen- und Kohlenstoffionenstrahlung stark an und sank innerhalb von zwei Wochen leicht ab. Acht Wochen nach Bestrahlung enthielten die Zellen noch immer zahlreiche Aberrationen zusätzlich zum Grundmuster.

5.3 GENEXPRESSIONSANALYSEN

Die Genexpressionsanalysen zeigten, dass sich die drei untersuchten Gliom-/Glioblastomstammzelllinien bei jeweils paarweisem Vergleich 1,3 - 17 % statistisch signifikant voneinander unterschieden. Bei einem paarweisen Vergleich der Gliom-/Glioblastomstammzelllinien mit neuralen Stammzellen lag der Unterschied bei 13 - 21 %. Die Expression ausgewählter Gene konnte durch einen siRNA-vermittelten Knockdown herunterreguliert werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die noch laufenden Genexpressions-Analysen werden abgeschlossen und ein Abschlussbericht verfasst.

Thema Einfluss von Niedrigdosisstrahlung auf die Leukämieentwicklung bei genetischer Prädisposition in einem Mausmodell **Subject** *Influence of low-dose radiation on leukemia development in a genetically predisposed mouse model*			
Kennzeichen 3618S32274	**Beginn** 01.01.2019	**Ende** 30.09.2021	**Fördermittel** EUR 542.142,-
Forschungs- / Auftragnehmer Universitätsklinikum Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf			
Projektleitung Prof. Dr. A. Borkhardt Dr. U. Fischer Dr. D. Hein	**Fachbetreuung BfS** Dr. S. Hornhardt, Dr. J. Schmidt / WR 1	**verantwortlich für den Text** Prof. Dr. A. Borkhardt Dr. U. Fischer Dr. D. Hein	

1. ZIELSETZUNG

Ionisierende Strahlung ist ein akzeptierter Risikofaktor für die Leukämie-Entstehung im Kindesalter. Allerdings ist die Bedeutung schwacher ionisierender Strahlung im Niedrigdosisbereich noch unklar. Das Deutsche Kinderkrebsregister in Mainz führte im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz von 2003 bis 2007 die Studie „Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken“ (KiKK-Studie) durch und konnte eine Korrelation zwischen der Nähe des Wohnortes zu einem Atomkraftwerk und dem Risiko eine Leukämie zu entwickeln aufzeigen. Dies lässt sich jedoch mit dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand über Strahlenwirkungen nicht erklären. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, experimentell im Mausmodell zu prüfen, ob genetische Faktoren die Empfindlichkeit für den schädlichen Einfluss ionisierender Strahlung beeinflussen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK SOWIE DARSTELLUNG DER VORGEHENSWEISE

In einem ersten Bearbeitungsschritt wurde der vorliegende Stand von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens aufgearbeitet, die relevanten bisherigen Arbeiten zusammengefasst und maßgebliche Unterlagen und Veröffentlichungen identifiziert.

2.2 EXPOSITION DER MÄUSE UND BEOBACHTUNG DER LEUKÄMIEENTWICKLUNG

In diesem Projekt wird das Sca1-*ETV6-RUNX1*-Mausmodell, das die häufigste bei Kindern anzutreffende präleukämische Gentranslokation *ETV6-RUNX1* trägt, eingesetzt, um zu testen, ob die Exposition mit Niedrigdosisstrahlung onkogene Mutationen (als sogenannten zweiten "Hit") verursachen kann. Die Leukämieentwicklung nach Bestrahlung wird beobachtet und die sich entwickelnden Leukämien phänotypisch charakterisiert.

2.3 CHARAKTERISIERUNG DER STRAHLENINUDZIERTEN TUMORZELLEN

Die genetischen Veränderungen in den auftretenden, strahlungsinduzierten Leukämien der Mäuse werden erfasst, verglichen und auf strahlungsbedingte Mutationsmuster hin untersucht. Die Ergebnisse werden mit publizierten, sekundären Alterationen der murinen und der humanen *ETV6-RUNX1*-positiven-prä-B-ALL[1)] verglichen, um ein umfassendes Bild von spezifischen, *ETV6-RUNX1*-assoziierten, sekundären genomischen Veränderungen als Folge von niedrigdosierter Bestrahlung zu liefern.

[1)] eine Untergruppe der Akuten Lymphatischen Leukämie

3. METHODIK

Zunächst wurden Online-Literaturrecherchen (Pubmed-Datenbank) zum aktuellen Stand der Wissenschaft durchgeführt und die geplante experimentelle Vorgehensweise geprüft.

Für die Studie wurden genetisch prädisponierte Sca1-*ETV6-RUNX1*-Mäuse (jeweils n = 30 pro Behandlung) einmalig mit definierten geringen Dosen bis in den Niedrigdosisbereich (2 Gy, 0,5 Gy, 50 mGy) bestrahlt bzw. scheinbestrahlt. Das Auftreten von Leukämien wird bis zu einem Alter der Tiere von 2 Jahren kontrolliert und auftretende Tumore phänotypisch und genotypisch untersucht.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK SOWIE DARSTELLUNG DER VORGEHENSWEISE

Wissenschaftliche Veröffentlichungen zur Frage der Effekte einer Niedrigdosisbestrahlung auf den Menschen sowie beobachtete Effekte in Tiermodellen wurden recherchiert und analysiert. Der aktuelle Wissensstand zu sekundären genetischen Alterationen in kindlichen Leukämien sowie die für das Projekt gewählte Vorgehensweise wurden aufgearbeitet und in einem Bericht zusammengefasst.

4.2 EXPOSITION DER MÄUSE UND BEOBACHTUNG DER LEUKÄMIEENTWICKLUNG

Gruppen von jeweils 30 Sca1-*ETV6-RUNX1*-Mäusen werden einmalig mit exakten Dosen (2 Gy, 0,5 Gy und 50 mGy) aus einer geschlossenen, kalibrierten Gammastrahlenquelle (Cs-137, Gammacell 1 000 Elite, nominale Aktivität 12,8 TBq) bestrahlt bzw. zur Kontrolle scheinbestrahlt (0 Gy). Die Tiere werden bis zu einem Alter von zwei Jahren regelmäßig durch Blutkontrollen auf das Vorliegen von Leukämien untersucht. Tiere, die Merkmale einer Leukämie aufweisen, werden getötet und den üblichen Nekropsieverfahren unterzogen. Makroskopisch, histologisch, durchflusszytometrisch und molekularbiologisch werden Gewebeinfiltration, Tumor-Zellzahl und Tumor-Klonalität in hämatopoetischen Organen untersucht. Makroskopisch werden die Größe der Milz, Tumorinfiltrationen und die Zellzahlen in hämatopoetischen Organen untersucht. Milz und Knochenmark werden nach Hämatoxylin-Eosin-Färbung auch histologisch untersucht. Blutzellen aus den hämatopoetischen Organen werden durchflusszytometrisch untersucht. Dazu werden die kernhaltigen Zellen aus dem Knochenmark, dem peripheren Blut, dem Thymus, der Milz und den Lymphknoten gewonnen. Kontaminierende Erythrozyten werden lysiert, die restlichen Zellen mit spezifischen Antikörpern und Propidiumiodid (zum Ausschluss toter Zellen) gefärbt und mit Hilfe eines AccuriC6-Durchflusszytometers (BD Biosciences) gemessen und mit FlowJo-Software (LLC) analysiert. Für jede Analyse werden insgesamt mindestens 50 000 vitale (PI[1)]-negative) Zellen bewertet. Dabei werden die B-Zell-Entwicklungsstadien wie folgt definiert:

- Pro-B-Zellen ($CD19^+$, $c\text{-}Kit^+$)
- Prä-B-Zellen ($B220^+$, $CD25^+$, IgM^-)
- unreife B-Zellen ($B220^+$, IgM^{Hi}, IgD^-)
- rezirkulierende B-Zellen ($B220^+$, IgD^{Hi})
- periphere Übergangs-B-Zellen ($B220^+$, IgM^{Hi}, IgD^{Hi})
- periphere reife B-Zellen ($B220^+$, IgM^{Lo}, IgD^{Hi})
- Randzonen-B-Zellen ($B220^+$, $CD21^{Hi}$, $CD23^{Lo}$)
- follikuläre B-Zellen ($B220^+$, $CD21^{int}$, $CD23^{Hi}$).

Zur molekularbiologischen Analyse der Klonalität der Tumorzellen wird genomische DNA aus Tumorzellen sowie aus $CD19^+$-sortierten Wildtyp-Splenozyten als positiver Kontrolle isoliert. Immunglobulin-Rearrangements werden dann mit Hilfe einer PCR mit spezifischen Primern und anschließender Gelelektrophorese analysiert. Die Selbsterneuerungskapazität der Leukämiezellen wird mittels Transplantation in bestrahlte Wildtyp-Mäuse bestimmt. Dazu werden leukämische Pro-B-Zellen durch magnetische Zellsortierung ($B220^+$) aus dem Knochenmark erkrankter Mäuse isoliert und auf mit Mitomycin C behandelten ST2-Zellen in Iscoves modifiziertem Dulbecco Medium (IMDM, 50 µM β-Mercaptoethanol, 1 mM L-Glutamin, 2 % hitzeinaktiviertes fötales Kälberserum, 1 mM Penicillin-Streptomycin und 0.03 % (w/v[2)]) Primaton RL) kultiviert. Tumor-Pro-

[1)] Propidiumiodid
[2)] Massenprozent/Volumenprozent

B-Zellen wachsen IL-7[1)]-unabhängig. Die leukämischen Sca1-*ETV6-RUNX1*-Pro-B-Zellen werden intravenös in subletal bestrahlte (4 Gy) Empfänger (12 Wochen alte männliche syngene Mäuse, C57BL/6 x CBA) injiziert. Die Krankheitsentstehung bei den Empfängermäusen wird durch eine regelmäßige periphere Blutanalyse überwacht, bis leukämische Blasten detektiert werden. Die Tiere werden dann getötet und die Leukämie-Entwicklung untersucht. Nach Abschluss der Versuchsreihe werden Latenz- und Überlebenskurven der Mauskohorten nach Kaplan-Meier erstellt. Wenn Tiere frühzeitig versterben, wird die Todesursache untersucht und entsprechend dokumentiert.

4.3 CHARAKTERISIERUNG DER STRAHLENINDUZIERTEN TUMORZELLEN

Von allen Tieren, die eine Leukämie entwickelt haben, werden Leukämiezellen asserviert. Diese Tumorzellen werden einer Ganz-Exom-Sequenzierung unterzogen, um die strahlungsbedingten, genetischen Veränderungen in der Leukämie zu bestimmen und im Vergleich zu nicht exponierten Zellen und zum Zeitpunkt vor der Exposition zu erfassen.

DNA wird mittels des AllPrep DNA/RNA Mini Kits (Qiagen) aufgereinigt und die Maus-Exom-Bibliotheken mit dem Agilent SureSelectXT Mouse All Exon Kit hergestellt. Die Sequenzierung wird mittels 2 x 100 bp Paired-End-Sequenzierung, 6 bp Index-Reads und des TruSeq SBS Kit (v3) auf der HiSeq 2500-Plattform (Illumina) durchgeführt.

Fastq-Dateien werden mit BcltoFastq 1.8.4 (Illumina) erzeugt. Die BWA-Version 0.7.4. wird verwendet, um die erhaltenen Sequenzdaten an das Mausreferenzgenom (GRCm38.71) zu alignieren. Konvertierungsschritte werden mit Samtools durchgeführt, gefolgt von der Entfernung von PCR-Duplikaten mittels Picard. Die lokale Alignierung bei Indels, das SNP-Calling, die Annotierung und die Rekalibrierung werden mit Hilfe von GATK 2.4.9 durchgeführt. Maus dbSNP138 und dbSNP für die verwendeten Mausstämme werden als Trainingsdatensätze für die Rekalibrierung verwendet. Die resultierenden Variationscalls werden mit dem Variant Effect Predictor unter Verwendung der Ensembl-Datenbank (v70) annotiert und in eine interne MySQL-Datenbank importiert, um automatische und manuelle Annotationen sowie Abgleich und Datenanalyse durch komplexe Datenbankabfragen zu ermöglichen. Scores, die einen Funktionsverlust der betroffenen Gene/Proteine vorhersagen, werden mittels PolyPhen2 und SIFT[2)] aus Ensembl extrahiert. Gene mit einer Relevanz für Tumore werden bestimmt, indem der Cancer Gene Consensus aus COSMIC mit ENSEMBLs Biomart translatiert wird. Gefundene Mutationen werden anschließend durch Sanger-Sequenzierung validiert.

Bei der zusammenfassenden Auswertung werden alle expositionsbedingten Veränderungen der Sca1-*ETV6-RUNX1*-Mäuse erfasst, verglichen und auf strahlungsbedingte Mutationsmuster hin untersucht. Die Ergebnisse werden außerdem mit publizierten sekundären Alterationen in der murinen und der humanen (t(12;21)) Prä-B-ALL verglichen.

5. ERGEBNISSE

Von den bisher im Alter von einem Monat einmalig bestrahlten/scheinbestrahlten Sca1-*ETV6-RUNX1*-Mäusen (2 Gy (n = 19), 0,5 Gy (n = 30), 50 mGy (n = 30), 0 Gy (n = 28)) erkrankte bisher nur eine Maus an einer Leukämie. Diese wurde mit 0,5 Gy behandelt und erkrankte im Alter von 6,6 Monaten, d. h. 5,6 Monate nach der Bestrahlung, an einer B-Zell-Leukämie. Durchflusszytometrische Untersuchungen zeigten, dass die Leukämie zu diesem Zeitpunkt Milz (44 % Tumorzellen) und Lymphknoten infiltriert (34 % Tumorzellen) hatte. Die leukämischen Zellen werden derzeit weiter phänotypisiert und mittels Ganz-Exom-Sequenzierung genetisch charakterisiert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Weitere Mäuse werden bestrahlt/scheinbestrahlt, bis die erforderliche Zahl an Tieren erreicht ist (n = 30 je Behandlungsgruppe). Alle Tiere bis zum Alter von zwei Jahren werden auf das Auftreten von Leukämien hin untersucht. Nach Abschluss der Phänotyp- und Genotyp-Untersuchungen aller auftretenden Leukämien werden die Ergebnisse in Hinblick auf die Fragestellung analysiert.

[1)] Interleukin 7
[2)] Sorting Intolerant from Tolerant

Thema			
Bestimmung der Frequenz präleukämischer Translokationen in Nabelschnurblut			
Subject			
Determination of the frequency of preleukemic translocations in umbilical cord blood			
Kennzeichen 3618S32275	**Beginn** 01.11.2018	**Ende** 30.09.2021	**Fördermittel** EUR 307.403,-
Forschungs- / Auftragnehmer Universitätsklinikum Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf			
Projektleitung Prof. Dr. A. Borkhardt Dr. U. Fischer Dr. D. Hein	**Fachbetreuung BfS** Dr. S. Hornhardt / WR 1 Dr. J. Schmidt / WR 5	**verantwortlich für den Text** Prof. Dr. A. Borkhardt Dr. U. Fischer Dr. D. Hein	

1. ZIELSETZUNG

Die pädiatrische akute lymphatische Leukämie (ALL) ist gekennzeichnet durch präleukämische chromosomale Translokationen, die bereits vor der Geburt auftreten können. Am häufigsten ist die Translokation t(12;21), die zur Bildung des chimären Transkriptionsfaktors *ETV6-RUNX1* führt. Die Häufigkeit *ETV6-RUNX1*-positiver präleukämischer Zellen bei Neugeborenen ist unklar. Erste Ergebnisse zeigten, dass *ETV6-RUNX1*-Translokationen 100-mal häufiger bei Neugeborenen auftreten, als tatsächlich Kinder an *ETV6-RUNX1*-positiver Leukämie erkranken. Nachfolgende Studien ergaben jedoch widersprüchliche Ergebnisse. In einem Pilotprojekt des BMU/BfS wurde deshalb von Prof. Robert Slany (Institut für Genetik, Universität Erlangen-Nürnberg) und der Projektleitung eine auf stabiler DNA basierte Methode zum Nachweis präleukämischer Translokationen (genomisch inverse PCR zur Detektion von ligierten Bruchpunkten, abgekürzt: GIPFEL) entwickelt. Die GIPFEL-Methode weist Genfusionen ohne vorherige Kenntnis des Bruchpunkts mit hoher Sensitivität (10^{-4}) und Spezifität nach. In einem weiteren BMU/BfS-Projekt wurde diese Technik von der Projektleitung für den Nachweis von translokationspositiven Zellen in Nabelschnurblutproben von gesunden Neugeborenen adaptiert. In einem ersten populationsbasierten, retrospektiven Screening von 1 000 gesunden Neugeborenen zeigten 5 % *ETV6-RUNX1*-positive Signale. Um dieses Ergebnis in einer erweiterten Kohorte zu prüfen, werden in dem aktuellen Projekt weitere 1 000 Nabelschnurblutproben von gesunden Neugeborenen mit der GIPFEL-Technik untersucht.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK SOWIE DARSTELLUNG DER VORGEHENSWEISE

In einem ersten Bearbeitungsschritt werden der vorliegende Stand von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens aufgearbeitet, die relevanten bisherigen Arbeiten zusammengefasst und maßgebliche Unterlagen und Veröffentlichungen identifiziert.

2.2 SCREENING VON 1 000 NABELSCHNURBLUTBANKPROBEN

In dieser konfirmatorischen Studie werden 1 000 weitere Nabelschnurblutproben von gesunden Neugeborenen mit der GIPFEL-Technik untersucht, um die Präsenz von *ETV6-RUNX1*-positiven präleukämischen Zellen in gesunden Neugeborenen zu prüfen. Ein Abgleich der Screening-Ergebnisse mit tatsächlichen Leukämie-Erkrankungen wird erfolgen und die allgemeine Leukämierate Neugeborener in dem untersuchten Zeitraum und der entsprechenden Population bestimmt. Die Ergebnisse sollten es ermöglichen, die Penetranz und das Leukämie induzierende Potenzial des chimären Transkriptionsfaktors *ETV6-RUNX1* bei menschlichen Neugeborenen zu bewerten und eine Grundlage für die Beurteilung des Einflusses sekundärer umweltbedingter oder spontan auftretender kooperierender onkogener Läsionen bei der *ETV6-RUNX1*-positiven Kinderleukämie zu bilden.

2.3 CHARAKTERISIERUNG DER BRUCHPUNKTE ETV6-RUNX1-POSITIVER PROBEN

Die *ETV6-RUNX1*-positiv getesteten Proben sollen durch Sequenzierung näher charakterisiert werden. Es soll untersucht werden, ob es Unterschiede oder Gemeinsamkeiten in den Sequenzen der Bruchpunkte von Leukämie-Patienten verschiedenen Alters und gesunden Probanden gibt.

3. METHODIK

Es wurden Online-Literaturrecherchen (Pubmed-Datenbank) zum aktuellen Stand der Wissenschaft durchgeführt. Für die Analyse der Nabelschnurblutproben wurde die GIPFEL-Technik eingesetzt. Bruchpunkte wurden durch Sequenzierung näher charakterisiert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK SOWIE DARSTELLUNG DER VORGEHENSWEISE

Wissenschaftliche Veröffentlichungen zum Vorkommen präleukämischer *ETV6-RUNX1*-positiver Zellen in Neugeborenen wurden recherchiert, analysiert und verglichen. Der aktuelle Wissensstand wurde aufgearbeitet und in einem Bericht zusammengefasst.

4.2 SCREENING VON 1 000 NABELSCHNURBLUTBANKPROBEN

1 000 Nabelschnurblutproben von gesunden Neugeborenen wurden asserviert und pseudonymisiert. Sie werden mit Hilfe der etablierten „Standard Operation Procedure (SOP)“ der GIPFEL-Methode, die im vorangegangenen Screening etabliert wurde (Schäfer *et al.*)[1)], auf die Präsenz von *ETV6-RUNX1*-positiven präleukämischen Zellen untersucht. Die Frequenz der Zellen im Nabelschnurblut der positiven Neugeboren wird bestimmt und die mögliche Erkrankung des Kindes überprüft.

4.3 CHARAKTERISIERUNG DER BRUCHPUNKTE ETV6-RUNX1-POSITIVER PROBEN

Die *ETV6-RUNX1*-positiv getesteten Proben werden durch Sequenzierung, wie in Schäfer *et al.* beschrieben, näher charakterisiert. Die Sequenzierung soll durch Amplifikation des translokationstragenden DNA-Zirkels und anschließender Sanger-Sequenzierung erfolgen. Der DNA-Zirkel wird dabei ähnlich wie bei einer Ganzgenomamplifizierung, allerdings mit Primern, die spezifisch für die *ETV6-RUNX1*-Region sind, unter Verwendung einer Ultra-Long-Range-Polymerase vermehrt. Der amplifizierte DNA-Zirkel wird dann per Primerwalk sequenziert, bis der Bruchpunkt gefunden ist. Da für unterschiedliche Bruchpunkte verschiedene Primer benutzt werden müssen, muss eine Optimierung vor der Bestimmung des Bruchpunkts durchgeführt werden. Die mittels Sequenzierung identifizierten und charakterisierten Bruchpunkte werden im Anschluss mit aus der Literatur bekannten, leukämiespezifischen *ETV6-RUNX1*-Bruchpunkten verglichen. Es wird untersucht werden, ob es Unterschiede oder Gemeinsamkeiten in den Sequenzen der Bruchpunkte von Leukämiepatienten verschiedenen Alters und gesunden Probanden gibt.

5. ERGEBNISSE

Es wurden bisher 266 von 1 000 Nabelschnurblutproben analysiert. 22 davon wurden mittels der GIPFEL-Technik als *ETV6-RUNX1*-positiv identifiziert und durch Sanger-Sequenzierung validiert. Dies entspricht einer Inzidenz von ~8 % bei den untersuchten gesunden Neugeborenen. Die Frequenz ist in dieser Teilkohorte etwas höher als im vorangegangenen Screen (5 %, n = 1000). Die *ETV6-RUNX1*-positiven Zellen traten dabei mit einer Frequenz von ≈1 bis 10 pro 10 000 negativer Zellen auf (10^{-4} bis 10^{-5}). Wie im vorherigen Screen wurden auch hier Proben (n = 2) identifiziert, in denen gleichzeitig zwei Klone mit verschiedenen *ETV6-RUNX1*-Bruchpunkten nachgewiesen werden konnten. Die Frequenzen, mit denen diese Bruchpunkte nachgewiesen wurden, sprechen in beiden Fällen für das gleichzeitige Vorliegen zweier verschiedener Klone aus zwei separaten, mutagenen Ereignissen ($2{,}7 \times 10^{-5}$ und $7{,}4 \times 10^{-5}$ bzw. $6{,}6 \times 10^{-5}$ und $2{,}1 \times 10^{-5}$). Die bisher analysierten Bruchpunkte liegen ähnlich verteilt in den Bruchpunktregionen von *ETV6* und *RUNX1* wie im vor-

[1)] Blood 2018; 131: 821-826

herigen Screen, allerdings ist die Anzahl der untersuchten Proben noch zu gering, um statistische Aussagen treffen zu können.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Das Screening der Nabelschnurblutproben wird bis zum Erreichen der angestrebten Fallzahl (n=1 000) fortgesetzt. Bruchpunkte werden mittels Sequenzierung näher charakterisiert und mit bisherigen Daten vergleichen. Mögliche Leukämie-Erkrankungen der Kinder in der analysierten Kohorte werden überprüft.

3.4 Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

3.4 Subject area 04
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm **Subject** *Evaluation of the breast cancer mortality in the German mammography-screening-program*			
Kennzeichen 3617S42402	**Beginn** 01.01.2018	**Ende** 30.09.2020	**Fördermittel** EUR 971.826,-
Forschungs- / Auftragnehmer Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Epidemiologie und Sozialmedizin, Bereich Klinische Epidemiologie, Münster			
Projektleitung Univ.-Prof. Dr. med. A. Karch	**Fachbetreuung BfS** Prof. Dr. G. Brix / MB	**verantwortlich für den Text** Univ.-Prof. Dr. med. A. Karch	

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen dieser Evaluationsstudie soll der Einfluss des deutschen Mammographie-Screening-Programms (MSP) auf die Brustkrebsmortalität eruiert werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Vor Beginn der Hauptstudie wurden zwei Machbarkeitsstudien durchgeführt. Hierbei wurden Verfahren zur Nutzung von Daten aus den klinischen und epidemiologischen Krebsregistern sowie aus sechs beteiligten gesetzlichen Krankenkassen (ab dem Jahre 2004 bzw. 2006) entwickelt. Eine zusätzliche Datenanreicherung erfolgt darüber hinaus durch das Heranziehen von Daten der Kassenärztlichen Vereinigungen Westfalen-Lippe und Nordrhein. Das Ziel der momentan laufenden Hauptstudie-I (01.01.2018-31.12.2020) ist, diese Verfahren und somit die technisch-organisatorisch entwickelten Modelle in die Praxis zu überführen, um die notwendige Datenbasis durch eine kontinuierliche Datensammlung und -haltung zu erstellen. Zusätzlich werden die statistischen und epidemiologischen Auswertungskonzepte, die ebenfalls bereits in den Machbarkeitsstudien entwickelt wurden, in dieser Studienphase kontinuierlich an die sich derzeit rasch entwickelnden Forschungskenntnisse angepasst und vom Konsortium weiterentwickelt. In der angestrebten zweiten Phase der Hauptstudie sollen die Analysen entsprechend der Auswertungskonzepte durchgeführt werden.

3. METHODIK

In der Hauptstudie soll die Strategie der konvergierenden Evidenzen verfolgt werden. Dabei sollen die Datensätze der epidemiologischen und klinischen Krebsregister sowie der verschiedenen Krankenkassen mittels unterschiedlicher, sich ergänzender Analyseverfahren hinsichtlich der Auswirkungen des deutschen MSP auf die Brustkrebsmortalität ausgewertet werden. Insgesamt finden demzufolge diverse methodische Ansätze Anwendung - z. B. Kohortenstudien, eingebettete Fall-Kontroll-Studien, Sekundärdaten-basierte Prospektivstudien -, um die vermuteten Mortalitätseffekte auf Ergebniskonvergenz zu überprüfen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PROJEKTMANAGEMENT

Der Generalunternehmer (GU), die Westfälische Wilhelms-Universität Münster, koordiniert weiterhin die administrativen und wissenschaftlichen Aktivitäten des Konsortiums. Eine kontinuierliche Aktualisierung der Literatur fand fortlaufend im halbjährlichen Rhythmus statt, so dass die etablierte, zentral zugängliche Literaturdatenbank inzwischen mehr als 700 relevante Beiträge zu dem Forschungsthema umfasst. Neben den regelmäßigen Quartalstreffen zwischen dem GU und den Unterauftragnehmern (UA) fand auch eine wissenschaftliche Beiratssitzung statt, in der der aktuelle Projektstatus diskutiert wurde.

4.2 MODELL EPIDEMIOLOGISCHE KREBSREGISTER

Dieses Modell hat zum Ziel, eine detaillierte Darstellung der Evidenzbasis hinsichtlich der auftretenden Brustkrebstumore (z. B. Größe, Stadium, Unterschiede im Verlauf bei fortgeschrittenen Tumoren) zu generieren und die unter 4.3. dargestellten Analysen gesetzlicher Krankenkassendaten hochauflösend zu ergänzen. Dazu erfolgt ein Abgleich der Daten aus den epidemiologischen Krebsregistern - mit Informationen über die Screeninghistorie, inzidente Brustkrebserkrankungen, Vitalstatus und die Todesursache Brustkrebs für MSP-Teilnehmerinnen und Nicht-Teilnehmerinnen mit Brustkrebs sowie für MSP-Teilnehmerinne ohne Brustkrebs - mit den pseudonymisierten Daten der Kassenärztlichen Vereinigung Westfalen-Lippe und Nordrhein, die wiederum Informationen zu den nicht an Brustkrebs erkrankten Nicht-Teilnehmerinnen bereitstellen. Die Daten werden dazu in der registerbasierten Datenzusammenführenden Stelle (rDZS) hinzugefügt und miteinander verknüpft. Für die technische Umsetzung nimmt der UA Landeskrebsregister Nordrhein-Westfalen gGmbH (LKR NRW) ebenso eine zentrale Funktion ein wie für die kassenbasierte Datenzusammenführende Stelle (kDZS; einschließlich des Todesursachen-Abgleiches) sowie für die Umsetzung der Evaluierenden Stelle im BfS, da die vollständige und abgestimmte Entwicklung der Software durch diesen UA verwirklicht wird.

4.3 MODELL GESETZLICHE KRANKENKASSENDATEN

Um den primären Endpunkt der brustkrebsassoziierten Mortalität evaluieren zu können, sollen in diesem Modell die Daten der sechs teilnehmenden, zum Teil überregional agierenden gesetzlichen Krankenkassen bei den UA Leibniz-Institut für Epidemiologie und Präventionsforschung BIPS GmbH (BIPS) (AOK Niedersachsen, AOK Bremen, DAK, TK und HKK) und SOCIUM Forschungszentrum Ungleichheit und Sozialpolitik, Abteilung Gesundheit, Pflege und Alterssicherung, der Universität Bremen (SOCIUM) (BARMER) ausgewertet werden. Da die Informationen zur Todesursache originär nicht in den GKV-Daten verfügbar sind, werden die Daten durch einen Todesursachen-Abgleich mit den drei EKR (EKR Nidersachsen, LKR NRW und Bayerisches Krebsregister) angereichert und gemeinsam in die kDZS eingespeist.

4.4 MODELL KLINISCHE KREBSREGISTERDATEN

Mittels einer retrospektiven Nutzung von bestehenden Daten der klinischen Krebsregister sollen Aussagen zu Auswirkungen der Therapieadhärenz und der weiteren Versorgung von MSP-Teilnehmerinnen und Nicht-Teilnehmerinnen auf die Mortalität abgeleitet werden, um die Evaluation des MSPs hinsichtlich des Endpunktes der Brustkrebssterblichkeit zu ergänzen. Da die Brustkrebsmortalität durch Unterschiede in der Teilnahmebereitschaft am Screening, Lebensstil und Therapieadhärenz beeinflusst und stark verzerrt werden kann, ist diese zusätzliche Datenzusammenführung sowie sachgerechte epidemiologisch-methodische Evaluation ergänzend zu den beiden vorherigen Modellen erforderlich.

5. ERGEBNISSE

Die Planungen der rDZS und kDZS für die Modelle EKR und GKV konnten durch den UA LKR NRW erfolgreich abgeschlossen werden. Im Rahmen dessen wurde unter anderem auch die Datenüberführung in die rDZS weiterentwickelt und festgelegt sowie die Absprachen mit dem GU und den anderen beteiligten UA zur Gestaltung der kDZS spezifiziert. Infolge der verzögerten Entwicklung und Implementierung der einzelnen Softwarekomponenten konnten noch keine Daten erhoben und in die rDZS überführt werden. Durch die Weiterentwicklung der Software wurden die realen Datenflüsse allerdings vorbereitet. So konnte der Pseudonymisierungsdienst bei der KV-IT verortet und ausgeliefert werden; die Auslieferung der DZS bei der ZTG steht mittelbar bevor. Die vom UA LKR NRW nach Krebsfrüherkennungs-Richtlinie regelmäßig durchgeführten Abgleiche der Intervallkarzinome haben darüber hinaus dazu beigetragen, die für dieses Projekt relevanten Inzidenzraten für fortgeschrittene Brustkrebsstadien (Modell EKR) nach der EU-Richtlinie zu ermitteln. Eine dazugehörige Publikation liegt derzeit unter Begutachtung bei BMC Cancer.

Die für das Modell GKV zugespielten Rohdaten weiterer Kalenderjahre wurden auch im vergangenen Zeitraum fortlaufend eingearbeitet und auf Konsistenz überprüft, so dass beim UA SOCIUM die Daten von 2006 bis einschließlich 2017 und beim UA BIPS diese von 2004 bis einschließlich 2016 vorliegen.

Die infolge der neuen Rechtsgrundlage (EU-Datenschutz-Grundverordnung; Änderungen im Sozialgesetzbuch 10, § 75) notwendigen Genehmigungen zur Datennutzung wurden vorbereitet, eingereicht und sind inzwischen für alle Kassen bewilligt worden. Dies stellt gleichzeitig auch die Nutzung der Daten in der Hauptstudie-II sicher. Derzeit werden weitere Arbeiten zur Vorbereitung des Todesursachen-Abgleichs getroffen, indem die UA BIPS und SOCIUM datenschutzrechtliche Aspekte mit dem Bundesamt für Soziale Sicherung

(ehemals Bundesversicherungsamt) erörtern und die entsprechenden Anträge vorbereiten. Insgesamt weist der im Rahmen dieses Modells angestrebte Todesursachen-Abgleich Verzögerungen auf, weshalb konkretisierte Zeitpläne mit Meilensteinen zur Finalisierung der Melde-/Verschlüsselungssoftware, der Implementierung der Software bei den Kassen und der schließlich durchzuführenden Abgleiche erstellt wurden.

Im Modell klinischer Krebsregisterdaten wurde nach der Überprüfung einer möglichen Zusammenführung und Anreicherung dieser Daten mit Informationen der Mammographie-Screening-Einheiten von der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Tumorzentren e.V. (ADT) in Zusammenarbeit mit dem GU ein Forschungskonzept entwickelt. Da insbesondere in den klinischen Krebsregistern in den östlichen Bundesländern die Daten zu den Brustkrebserkrankungen seit Einführung des MSP erfasst sind, sollte ursprünglich in der Modellregion Mecklenburg-Vorpommern eine einmalige retrospektive Datenanreicherung im Zeitraum von 2009 bis 2017 erfolgen. Auf Grund einer negativen Rückmeldung zu dem geplanten Vorhaben in diesem Bundesland wird derzeit eine Umsetzung des Forschungsvorhabens in Sachsen-Anhalt angestrebt.

Alle statistischen und epidemiologischen Auswertungskonzepte wurden kontinuierlich während der gesamten bisherigen Laufzeit debattiert und angepasst.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Der zeitliche Verzug einzelner Arbeiten in der Hauptstudie-I soll unter anderem durch das Vorziehen von anderen Tätigkeiten, eine aktualisierte Priorisierung der Aufgaben sowie die kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit um ein Quartal bis zum 31.12.2020 kompensiert werden. Das Ziel der Hauptstudie-I, die register- sowie kassenbasierte Datenbasis in dieser Studienphase zu errichten, wird voraussichtlich erreicht werden, indem die nun noch ausstehenden Arbeiten (z. B. Auslieferung des Servers bei der KV-IT) umgesetzt werden. Außerdem werden die notwendigen Unterlagen zum Einholen der noch ausstehenden Genehmigungen vorbereitet und eingereicht, um den TU-Abgleich vornehmen zu können. Sofern eine Bewilligung der Hauptstudie-II erfolgt, soll am Ende dieser zweiten Phase der Einfluss des MSP auf die brustkrebsbedingte Mortalität evaluierbar sein.

Thema			
Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren			
Subject			
Survey to determine frequency and radiation dose from nuclear medical diagnostics			
Kennzeichen 3617S42443	**Beginn** 01.11.2017	**Ende** (31.10.2019)	**Fördermittel** EUR 133.399,-
Forschungs- / Auftragnehmer Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH			
Projektleitung Dr. M. Borowski	**Fachbetreuung BfS** Dr. A. Kamp / MB 3	**verantwortlich für den Text** Dr. M. Borowski / Dr. A. Kamp	

1. ZIELSETZUNG

Die regelmäßige Ermittlung der medizinischen Strahlenexposition der Bevölkerung und ausgewählter Bevölkerungsgruppen sowie die Erstellung von diagnostischen Referenzwerten (DRW) für nuklearmedizinische Untersuchungen gehören zu den Aufgaben des Bundesamtes für Strahlenschutz. Für die Berichterstattung sowie die Aktualisierung der in der StrlSchV geforderten DRW ist es notwendig, aktuelle Daten zur Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungsverfahren, der verwendeten Radiopharmaka, der applizierten Aktivitäten sowie der Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten zu erheben. Im Rahmen des Vorhabens sollen die genannten Daten in einer repräsentativen Erhebung erhoben und ausgewertet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Vorhaben sind Daten eines Zeitraums von zwei Jahren zur Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungsverfahren in Abhängigkeit von der Art, dem Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Untersuchung sowie deren Geschlecht, den applizierten Radiopharmaka und Aktivitäten und möglichst auch der Versicherungsstatus der Patienten möglichst lückenlos zu erheben. Für Hybriduntersuchungen sollen ergänzend die CT-Dosisparameter erfasst werden.

2.1 REKRUTIERUNG EINER HINREICHEND GROßEN ANZAHL AN KLINIKEN UND PRAXEN

Es sind in ausreichender Anzahl Kliniken und Praxen, in denen Daten erhoben werden sollen, auszuwählen.

2.2 DATENERHEBUNG

Daten zur Häufigkeit nuklearmedizinischer Verfahren bei Patienten in Deutschland sind über einen Zeitraum von zwei kompletten Kalenderjahren (2016 und 2017) in den nach Abschnitt 2.1 rekrutierten Kliniken und Praxen zu erheben.

Der Datensatz muss wesentliche Informationen, z. B. Geschlecht und Alter der Patienten, das untersuchte Organsystem sowie die applizierte Aktivität enthalten. Bei Hybridmodalitäten sind Dosisparameter der CT-Komponente zu erheben.

2.3 AUSWERTUNG DER DATEN UND BERECHNUNG DER EFFEKTIVEN DOSIS FÜR DIE EINZELNEN UNTERSUCHUNGEN

Die nach Abschnitt 2.2 erhobenen Daten sind auszuwerten und die effektive Dosis für die einzelnen Untersuchungen zu berechnen. Die Zusammenstellung ist für jedes untersuchte Jahr durchzuführen. Für jedes Organsystem sind zusätzlich statistische Größen zur Vorbereitung der Überarbeitung der diagnostischen Referenzwerte zu berechnen.

3. METHODIK

Kliniken und Praxen wurden durch die folgenden Aktionen angesprochen und zur Mitarbeit motiviert:

- persönliche Ansprache der Teilnehmer aus der vorangegangenen Erhebung von Daten zu nuklearmedizi-

nischen Untersuchungen sowie weiteren persönlich bekannten Einrichtungen

- Vorstellung des Projektes beim zentralen Erfahrungsaustausch der Ärztlichen Stellen sowie direkte Anfrage bei sämtlichen Ärztlichen Stellen und Bitte um Information der Einrichtungen im zugeordneten Bereich
- Unterstützung und Verteilung von Informationsmaterialien über den Bund Deutscher Nuklearmediziner (BDN)
- Kontaktaufnahme mit einigen Sachverständigenorganisationen sowie freien Medizinphysikexperten und Bitte um Werbung für die Erhebung
- Anfrage um Unterstützung bei der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin (DGN). Die DGN entscheidet, die Erhebung nicht zu unterstützen.
- Information über den bundesweit verfügbaren Newsletter der Ärztlichen Stelle Hessen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 REKRUTIERUNG EINER HINREICHEND GROßEN ANZAHL AN KLINIKEN UND PRAXEN

Zur Information wurden Materialien erstellt und über die oben benannten Kanäle verteilt.

In Summe konnten in etwa 70 Einrichtungen rekrutiert werden. Von den ursprünglich rekrutierten Einrichtungen haben im Verlauf des Projektes einige Einrichtungen die Mitarbeit aufgekündigt. Als Hauptgründe wurden benannt:

- zu hoher Arbeitsaufwand
- Datenschutzbedenken
- keine Einsicht in die Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit einer Erhebung von Daten im Sinne der Leistungsbeschreibung.

Um den in den Einrichtungen entstehenden Aufwand zu kompensieren, wurde allen mitwirkenden Einrichtungen eine Übernahme der Aufwendungen aus Projektmitteln zugesagt. Dieses war gleichwohl nicht immer ausreichend.

Um Datenschutzbedenken zu begegnen, wurde ein Datenschutzgutachten eingeholt. Dieses wurde jedoch nicht in allen Fällen als ausreichend angesehen.

Im Fall fehlender Einsicht in die Sinnhaftigkeit wurde mit den Einrichtungen eingehend gesprochen. Dieses war jedoch nicht in allen Fällen ausreichend.

4.2 DATENERHEBUNG

Daten zu der Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen konnten vielfach aus dem Dokumentationssystem der Einrichtungen entnommen werden. In einigen Fällen ließen sich die Daten vergleichsweise gut von dem klinischen oder Assistenzpersonal exportieren. In den meisten Fällen war für den Export die Unterstützung der vor Ort betreuenden IT oder der Herstellerfirma des Dokumentationssystems erforderlich. In einigen Fällen lagen zumindest Teile der Dokumentation, z. B. zu den verabreichten Aktivitäten, nicht elektronisch vor. In diesen Fällen wurden die Daten vollständig oder in Abstimmung mit dem BfS im Rahmen einer Stichprobe ergänzt.

Daten zu der bei der Hybridbildgebung ergänzend auftretenden Strahlenexposition durch die CT-Komponente waren in fast allen Fällen nicht elektronisch verfügbar. Die Erhebung dieser Daten stellt für die Betreiber einen wesentlichen Aufwand dar. Eine Erhebung ist daher nur im Rahmen überschaubarer Stichproben möglich.

4.3 AUSWERTUNG DER DATEN UND BERECHNUNG DER EFFEKTIVEN DOSIS FÜR DIE EINZELNEN UNTERSUCHUNGEN

Die Daten zu den nuklearmedizinischen Untersuchungen werden von den Einrichtungen in unterschiedlichen Datenformaten und Codierungen bereitgestellt. In etlichen Fällen ist eine Umcodierung erforderlich. Ergänzend werden als applizierte Aktivität unterschiedliche Daten dokumentiert. In einigen Einrichtungen wird hier wirklich die applizierte Aktivität unter Einbeziehung einer Rückmessung der in der Spritze verbleibenden Restaktivität dokumentiert. In anderen Einrichtungen unterbleibt die Rückmessung oder es wird gleich nur die zum Zeitpunkt der Präparation gemessene Aktivität dokumentiert und eine Korrektur um den Zerfall zwischen Prä-

paration und Applikation unterbleibt. Die Daten werden vor der Auswertung durch Importfilter auf eine einheitliche Vorgehensweise korrigiert. Zudem werden vor der Analyse Dokumentationsfehler korrigiert.

5. ERGEBNISSE

5.1 REKRUTIERUNG EINER HINREICHEND GROßEN ANZAHL AN KLINIKEN UND PRAXEN

Die Rekrutierung durch direkte Ansprache von Einrichtungen war aufwändig aber vergleichsweise erfolgreich. Da keine Verpflichtung zur Mitarbeit besteht, wurden die Daten von Einrichtungen in etlichen Fällen nur mit wesentlicher Verzögerung zur Verfügung gestellt. Letzte Daten trafen trotz wiederholter Nachfragen bei den Einrichtungen erst Anfang 2020 ein.

5.2 ERHEBUNG

Ohne es bislang abschließend bewerten zu können, scheint im Zeitraum zwischen der vorangegangenen und dieser Erhebung der Ausbau der Dokumentation in den nuklearmedizinischen Einrichtungen nicht relevant vorangeschritten zu sein. In einigen Einrichtungen sind Daten ohne relevanten Aufwand und in guter Qualität verfügbar. Es verbleiben allerdings etliche Einrichtungen mit zumindest teilweise papierbasierter Dokumentation. Insbesondere im CT-Bereich ist es in den meisten Einrichtungen nicht möglich, Daten automatisch zu exportieren.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Primärdaten liegen inzwischen vollständig vor. Die Aufbereitung und Analyse der Daten ist abzuschließen.

Thema Erfassung der Häufigkeit von Strahlentherapien in Deutschland			
Subject *Recording the frequency of radiotherapy in Germany*			
Kennzeichen 3618S42434	**Beginn** 01.08.2018	**Ende** 31.03.2020	**Fördermittel** EUR 178.143,-
Forschungs- / Auftragnehmer Deutsche Gesellschaft für Radioonkologie (DEGRO), Berlin			
Projektleitung Prof. Dr. N. Willich	**Fachbetreuung BfS** Dr. E. Schüler / MB 1	**verantwortlich für den Text** Prof. Dr. N. Willich	

1. ZIELSETZUNG

Die vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) bisher durchgeführten Erfassungen von Häufigkeitsdaten diagnostischer Strahlenanwendungen in der Medizin aus der Analyse von abgerechneten Gebührenordnungsziffern für den ambulanten und stationären Bereich von Patientenbehandlungen sollen mit dem vorliegenden Projekt auf das Gebiet therapeutischer Bestrahlungen erweitert werden. Im Vorhaben sind aktuelle, für Deutschland repräsentative Daten zu Art und Häufigkeit von Strahlentherapien sowohl für den stationären als auch den ambulanten Bereich zu erheben.

2. EINZELZIELSETZUNG

Mit dem Projekt sind entsprechend der Aufgabenstellung des BfS aktuelle für Deutschland repräsentative Daten zu Art und Häufigkeit von Strahlentherapien sowohl für den stationären als auch für den ambulanten Bereich zu erheben.

Die erhobenen Daten sind in Bezug auf die Indikationsstellung, Therapieverfahren, Bestrahlungsmodalitäten und Techniken sowie auf die bildgebenden Verfahren der Planung, Simulation und Verifikation zu stratifizieren.

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK UND REKRUTIERUNG DER DATENQUELLEN (MACHBARKEITSPRÜFUNG)

Bei Arbeitspaket (AP) 1 geht es um die Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik und Rekrutierung der Datenquellen (organisatorische Machbarkeitsprüfung) sowie die Erstellung eines inhaltlichen Konzeptvorschlags zur Erfassung und Verarbeitung von für Deutschland repräsentativen Daten zur Häufigkeit von Strahlentherapien für mindestens ein möglichst aktuelles Kalenderjahr (datentechnische Machbarkeitsprüfung).

2.2 WEITERGEHENDE DATENERHEBUNG UND DATENAUSWERTUNG

Bei AP2 steht die Umsetzung der bei AP 1 geschaffenen Voraussetzungen, d.h. die Auswertung der Datenlieferungen der einzelnen Datenhalter (mit Einschluss der bei einer repräsentativen Anzahl von Strahlentherapieinstitutionen ergänzend erhobenen Daten) sowie die Konsolidierung von Teil- zu Gesamtergebnissen mit Hochrechnung des Datenkörpers auf die Gesamtbevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Vordergrund.

2.3 VORSCHLAG FÜR EINE AKTUALISIERUNG DER DATEN IN DER ZUKUNFT

Es werden abschließend Empfehlungen zu entwickeln sein, wie die angewandte Methodik der Datensammlung und -aufbereitung durch das BfS möglichst eigenständig in Zukunft weiterverfolgt werden kann.

3. METHODIK

Das Erhebungsdesign ist wie folgt zu charakterisieren:

- Im Zentrum stehen geeignet aufbereitete Daten aus den Leistungs- bzw. Mengenstatistiken zu EBM (Einheitlicher Bewertungsmaßstab, Vergütungssystem der vertragsärztlichen Versorgung), GOÄ (Gebührenordnung für Ärzte, Abrechnung außerhalb der vertragsärztlichen Versorgung) und OPS (Operationen- und Prozedurenschlüssel, Grundlage für Leistungsabrechnung der Krankenhäuser), welche im Regelfall jährlich zur Verfügung stehen. Datenhalter sind die Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV) und die Kassenärztliche Vereinigung Bayerns (KVB) zum EBM, der Bundesverband Verrechnungsstellen Gesundheit e.V. (BVVG) und der PKV (Private Krankenversicherung)-Verband zur GOÄ sowie das Forschungsdatenzentrum (FDZ) des Statistischen Bundesamtes zum OPS. Dieser Datenbestand weist einen weitaus tieferen Detaillierungsgrad auf als derjenige, der dem BfS routinemäßig von den Datenhaltern zur Verfügung gestellt wird.
- Flankierend wird eine paneltaugliche Begleiterhebung durchgeführt, die
    - auf einer repräsentativen Stichprobe aufbaut sowie
    - in Zukunft in zweijährigem Rhythmus vorgenommen werden könnte, jedoch nicht vorgenommen werden muss.

Die Begleiterhebung soll primär die Generierung der BfS-relevanten Informationen aus den Leistungs- bzw. Mengenstatistiken zu EBM, GOÄ und OPS unterstützen und ergänzen.

4. DURCHFÜHRUNG

Die organisatorische Machbarkeitsprüfung als zentraler Gegenstand von AP 1 hatte zum Ergebnis, dass die KBV (neben den anderen, bereits oben genannten Datenhaltern) ihre Bereitschaft zur Lieferung von Einzeldatensätzen auf Patienten- bzw. Fallebene verbindlich zusicherte. Die betreffenden Daten zum EBM wurden nach Abschluss von AP 1 im August 2019 geliefert, aus denen die Behandlungsmuster - beginnend mit einer ggf. über Computertomographie (CT) und/oder Magnetresonanztomographie (MRT) bildgestützten Bestrahlungsplanung über die Bestrahlung selbst - in Abhängigkeit von der Diagnosestellung gemäß ICD 10 (International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems) bei ambulanter GKV (Gesetzliche Krankenversicherung)-Behandlung hervorgehen. Die Auswertung des komplexen Bestandes an mehr als 2 Mio. Einzeldatensätzen dauert an und wird sich bis etwa Februar 2020 erstrecken.

In analoger Weise konnte eine Datenfernabfrage zu den strahlentherapeutsichen Prozeduren nach OPS bei stationären Patienten beim FDZ des Statistischen Bundesamtes - nach erfolgter Akkreditierung der DEGRO als wissenschaftlicher Antragstellerin - in die Wege geleitet werden. Hier besteht die Herausforderung darin, kreuztabellarische Auswertungen zu definieren, ohne die Geheimhaltungsschwelle zu kleiner Stichprobenumfänge zu unterschreiten.

Die Datenbereitstellung durch den BVVG zur GOÄ und der ambulanten PKV-Versorgung wurde zu den Jahren 2017 und 2018 vorgenommen, wobei Daten zu 2016 aus organisatorischen Gründen erst 2020 geliefert werden können.

Die durch die KVB und den PKV-Verband zugesagten Datenlieferungen sind z. T. ebenfalls bereits eingetroffen. Diese dienen der zusätzlichen Validierung und Verprobung sowie der Abstützung von allenfalls notwendigen Hochrechnungen.

Erste Auswertungen waren im Übrigen als Schwerpunkt bei AP 1 bereits Resultat der datentechnischen Machbarkeitsprüfung, welche allerdings noch auf einfachen Mengengerüsten zu EBM, GOÄ und OPS aufbaute.

5. ERGEBNISSE

Die mit AP 1 vorgenommene organisatorische sowie die datentechnische Machbarkeitsprüfung haben gezeigt, dass das Projekt der Ermittlung der Häufigkeiten von Strahlentherapien in Deutschland umsetzbar erscheint.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Umsetzung von AP1 ist Gegenstand von AP 2, an dessen Ende im II. Quartal 2020 die Ergebnisse auf die deutsche Gesamtbevölkerung hochgerechnet werden sollen. Zuvor ist im Rahmen der Gesamtarchitektur eine Mappingtabelle erforderlich, anhand derer die Daten aus den unterschiedlichen Quellen nach einheitlichen Maßstäben zusammengeführt werden sollen.

Lücken sollen dabei nach Möglichkeit mit der oben zitierten Begleiterhebung geschlossen werden. Diese Erhebung wurde im November 2019 mit einer ersten Erhebungswelle in Gang gesetzt. Eine zweite Welle wird im Januar 2020 in die Wege geleitet. Der Erhebungsbogen besteht aus zwei Teilen. Neben der Anzahl und Struktur von Strahlentherapien geht es ergänzend um die Erhebung personeller und technischer Ressourcen im Bereich der Strahlentherapien.

Nach Abschluss der Arbeiten an der Mappingtabelle und dem Hochrechnungsmodell sollen die Ergebnisse zu AP 2 dokumentiert werden.

In einem dritten Arbeitspaket wird dem BfS ein Vorschlag gemacht werden, wie das BfS zukünftig mit überschaubarem Aufwand den gewonnenen Datenbestand aktualisieren kann. Das Gesamtprojekt wird dem BfS den gegenwärtigen Stand der radioonkologischen Versorgung in Deutschland vermitteln und ein Tool an die Hand geben, mit dem sich die Erkenntnisse über weitere Jahre anpassen und weiterentwickeln lassen.

Thema Konzept zur Umrechnung dosisrelevanter Parameter in der digitalen Volumentomographie			
Subject *Development of a concept to convert dose quantities on cone beam computed tomopraphy scenarios*			
Kennzeichen 3619S42462	**Beginn** 01.07.2019	**Ende** 30.06.2021	**Fördermittel** EUR 289.313,-
Forschungs- / Auftragnehmer Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH			
Projektleitung Dr. M. Borowski	**Fachbetreuung BfS** Dr. H. de las Heras Gala / MB 3	**verantwortlich für den Text** Dr. M. Borowski	

1. ZIELSETZUNG

Diagnostische Referenzwerte (DRW) für konventionelle Computertomographen (CT) werden in den Dosisgrößen Dosis-Längenprodukt (DLP) und Volumen-Computertomographie-Index ($CTDI_{vol}$) festgelegt. Bei Digitalen Volumentomographen (DVT), auch als Cone-Beam CT (CBCT) bezeichnet, wird vielfach das Dosisflächenprodukt (DFP) als Messgröße verwendet.

Es gibt zunehmend klinische Untersuchungen, welche alternativ mit CT sowie CBCT durchgeführt werden. Aktuell ist es nicht möglich, konsistent DRW für diese Untersuchungen festzulegen. Es besteht daher die Notwendigkeit, die genannten dosisrelevanten Parameter ineinander umzurechnen. Ziel dieses Vorhabens ist die Entwicklung eines Konzeptes für die Umrechnung zwischen $CTDI_{vol}$ / DLP- und DFP-Werten sowie die Bewertung der damit verbundenen Unsicherheiten.

TB 04

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben wurde gemäß seiner Leistungsbeschreibung in drei Arbeitspakete aufgeteilt.

2.1 ERMITTLUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Vor der Durchführung der weiteren Arbeitspakete sind anhand einer Literaturrecherche sowie durch Sichtung von Empfehlungen nationaler und internationaler Gremien der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik zu ermitteln.

Die Ergebnisse des Arbeitspaketes sind in die Arbeiten zu Erstellung von Konzepten zur Zusammenführung der Dosiskenngrößen einzubringen.

Ergänzend zu der anfänglichen Literaturrecherche sind über den gesamten Zeitraum des Vorhabens hinweg die Neuerscheinungen der internationalen Literatur zu sichten und relevante Neuerungen zu berücksichtigen.

2.2 VORSCHLAG GEEIGNETER KONZEPTE

Basierend auf der Recherche nach Abschnitt 2.1 sowie eigenen Überlegungen sind mindestens zwei geeignete Konzepte vorzulegen, die beabsichtigen, Umrechnungsfaktoren der Messgrößen zu ermitteln. Ein Konzept soll auf der Basis von Phantommessungen an repräsentativen Geräten Umrechnungsfaktoren bestimmen. Das zweite Konzept soll vornehmlich auf der Basis von Monte-Carlo-Simulationen für verschiedene Bau- und Bestrahlungsgeometrien entsprechende Faktoren ermitteln.

2.3 ANWENDUNG UND BEWERTUNG DER AUSGEWÄHLTEN KONZEPTE

Mit Hilfe der Konzepte nach Abschnitt 2.2 sind für eine repräsentative Auswahl von CBCT-Systemen Umrechnungsfaktoren anhand von Messungen sowie auf der Basis von Simulationsrechnungen zu bestimmen. Die Arbeiten haben für eine repräsentative Auswahl von mindestens zehn CBCT-Geräten zu erfolgen.

Für jedes CBCT sind die Arbeiten für die klinischen Untersuchungsarten durchzuführen, für die vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) DRW veröffentlicht wurden. Nach Bestimmung der Geräte- und untersuchungsspezifischen Umrechnungsfaktoren ist zu prüfen, ob für bestimmte Geräteklassen oder Untersuchungsarten

einheitliche Umrechnungsfaktoren festgelegt werden können. Der mit der Vereinfachung verbundene Fehler ist zu spezifizieren und zu bewerten.

3. METHODIK

Die internationale Fachliteratur wurde gesichtet. Durch zusätzlichen Kontakt mit Kliniken wurden auf dem Markt verfügbare CBCT-Geräte und deren Einsatzbereiche sortiert. Es wurden zwei Ansätze, um Konversionsfaktoren zu ermitteln, erarbeitet.

Die Details werden in der folgenden Sektion 4 erläutert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERMITTLUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die internationale Fachliteratur wurde hinsichtlich relevanter Schlüsselbegriffe zur Dosimetrie der CBCT gesichtet. Hierzu wurde die Methode „preferred reporting items for systematic reviews (PRISMA)“ nach D. Moher eingesetzt. Als formale Auswahlkriterien wurden verwendet:

- Publikation in einem Peer Review basierten wissenschaftlichen Journal
- Publikationsdatum nach dem 01.01.2000
- Arbeiten in englischer oder deutscher Sprache.

Verwendet wurden die Datenbanken Pubmed / Medline, Web of Science, Scopus und Science Direct. Nach einem Hinweis des BfS wurde die Datenbank EuropePMC ergänzt.

Die Abfragen ergaben in Summe über 3 000 Treffer. Diese wurden anhand des Abstracts gesichtet. Es verblieben etwa 160 Artikel, die anhand des Gesamttextes gesichtet und bewertet wurden. Die Artikel konnten je nach Eignung für das Vorhaben Null bis fünf Sterne erhalten. Ein Artikel, welcher fünf Sterne erhielt, war in der gesichteten Literatur nicht enthalten. Es gab einige Arbeiten, die mit vier Sternen bewertet wurden.

Ergänzend wurde in Verlautbarungen von deutschen und internationalen Gremien nach geeigneten Ansätzen geforscht. Es wurden gleichwohl keine geeigneten Arbeiten gefunden.

4.2 VORSCHLAG GEEIGNETER KONZEPTE

Anhand der gesichteten Literatur nach Abschnitt 4.1 sowie durch Kontakt mit Kliniken wurden klinische Einsatzbereiche ermittelt, in denen CBCT zum Einsatz kommt und für die auf Seiten der CT DRW existieren.

Die auf dem Markt verfügbaren Geräte wurden gesichtet und hinsichtlich ihrer Einsatzbereiche und Aufnahmecharakteristika sortiert. Es zeigte sich, dass CBCT-Geräte sich im Hinblick auf die Expositionsparameter, die Rotationswinkel sowie auch teilweise hinsichtlich der Aufnahmetrajektorien unterscheiden. Eine Selektion von Geräten wurde so durchgeführt, dass möglichst umfassend die auf dem Markt präsenten Charakteristika in der Stichprobe berücksichtigt werden, die in den Arbeiten nach Abschnitt 2.3 erfolgt.

Es wurden zwei Ansätze, um Konversionsfaktoren zu ermitteln, erarbeitet. Ein Ansatz basiert auf messtechnischen Arbeiten unter der Verwendung von konventionellen Prüfkörpern. Der zweite Ansatz strebt an, die effektive Dosis, die mit CT und CBCT-Untersuchungen einhergeht, anzugleichen, s. Abschnitt 5.2. Beide Konzepte wurden im Rahmen eines Projektgesprächs mit dem BfS abgestimmt.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERMITTLUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

In keiner der bislang gesichteten Arbeiten wird der Versuch unternommen, die Dosisgrößen aus CT und CBCT miteinander zu verbinden. Gefunden wurden zahlreiche Arbeiten zu Messungen mit CTDI-Prüfkörpern, die teilweise den für CBCT verwendbaren Ansatz von Dixon / Boone nutzen. Zudem gab es einige Arbeiten mit interessanten simulationstechnischen Ansätzen. In den meisten Fällen beschränkt sich die Dosimetrie je-

doch auf Detailfragestellungen, denen mit TLD[1)]-Messungen in anthropomorphen Phantomen nachgegangen wurde.

Es lässt sich aus den Arbeiten zu CTDI-Messungen entnehmen, dass die Messgröße als verbindende Größe bei leidlich symmetrischer Exposition geeignet ist. Limitierend wirkt sich aus, dass eine Kopplung von CT und CBCT über die Größen CTDI / DLP die im Körper unterschiedliche Dosisverteilung vernachlässigt. Hierdurch kann es zu selbst bei gleichem Messwert zu unterschiedlichen Organdosen und damit zu unterschiedlichen Patientenrisiken kommen.

5.2 VORSCHLAG GEEIGNETER KONZEPTE

Das messtechnische Konzept basiert auf einer genauen Messung des CTDI sowie DFP am CT und CBCT. Auf Grund der großen Kollimationsbreite ist es nicht möglich, für die Arbeiten auf das $CTDI_{100}$ zurückzugreifen, welches vielfach verwendet wird. Entsprechend dem Ansatz von Dixon / Boone werden die Größen "*peak dose*" f(0) und "*equilibrium dose constant*" A_{eq} bestimmt. Zudem wird angestrebt ein $CTDI_{\infty}$ sowie ein zugehöriges DLP zu messen. Die am CBCT gemessenen Größen können mit dem bei der Aufnahme gemessenen DFP abgeglichen werden. In der Gegenrichtung ist es ebenso möglich an dem CT ein DFP zu berechnen, nachdem die Kollimation und die Dosisverteilung längs des Bow-Tie Filters bestimmt wurde.

Im zweiten Ansatz werden nur wenige Geräteparameter messtechnisch ermittelt. Ausgehend von diesen Parametern werden Simulationen der Dosisverteilung bei CT und CBCT-Untersuchungen mit Hilfe des Programms ImpactMC vorgenommen. Die Simulationen werden an anthropomorphen Phantomen durchgeführt. Hier können Organverteilungen berücksichtigt und darauf aufbauend eine effektive Dosis berechnet werden. Über die Kopplung der mit den Untersuchungen verbundenen effektiven Dosis lassen sich die Messgrößen an CT und CBCT koppeln. Die Simulationen werden anhand von einzelnen Messungen an MOSFET[2)]-bestückten anthropomorphen Phantomen verifiziert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die gemäß Abschnitt 5.2 geplanten Arbeiten sollen durchgeführt und ausgewertet werden.

[1)] Thermolumineszenzdosimeter
[2)] *metal-oxide-semiconductor field-effect transistor*, Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor

3.5 Themenbereich 05
Radioökologie

3.5 Subject area 05
Radioecology

Thema			
Freigabekonzepte einer neuen Strahlenschutzverordnung nach EURATOM-Grundnormen 2013 in der Anwendung			
Subject			
Concepts for clearance according to a new radiation protection ordinance based on the Euratom Basic Safety Standards of 2013 in practice			
Kennzeichen 4717E03510	**Beginn** 22.09.2017	**Ende** 31.08.2020	**Fördermittel** EUR 456.928,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung Dr. A. Artmann	**Fachbetreuung BfS** Dr. R. Merk / UR 6	**verantwortlich für den Text** Dr. A. Artmann	

1. ZIELSETZUNG

Nicht bzw. leicht kontaminierte Materialien fallen bei der Stilllegung und dem Abbau von kerntechnischen Anlagen, in Medizin, Forschung oder dem Betrieb kerntechnischer Anlagen an. Diese Massen werden nach Durchlaufen eines in der Strahlenschutzverordnung geregelten, behördlich genehmigten Freigabe- bzw. Herausgabeverfahrens zur Wieder- bzw. Weiterverwertung dem Stoffkreislauf zugeführt bzw. fachgerecht beseitigt.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird eine generische Bestandsaufnahme und Bewertung der Praxis vorgenommen, inwieweit die den Regelungen der neuen Verordnung zu Grunde liegenden Freigabekonzepte in der Anwendung zum Ausdruck kommen (Erfahrungsrückfluss). Für die GRS ergibt sich als Sachverständigenorganisation des Bundes die Notwendigkeit, ihre Kompetenz auf einer weiterentwickelten Rechtsgrundlage und Praxis auszubauen / weiterzuentwickeln und zu erhalten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Forschungsvorhaben werden folgende Einzelziele definiert:

- Recherche zum Stand von Wissenschaft und Technik zur deutschen Freigabepraxis
- Recherche zu den Stoff- und Materialströmen bei der Freigabe der anfallenden Abfälle
- Kriterien zur Bewertung radiologischer Expositionsszenarien
- Bestimmung von Freigabewerten anhand rechnerbasierter Methoden

3. METHODIK

Die Arbeiten im Rahmen des Forschungsvorhabens werden in den folgenden Arbeitspaketen (AP) durchgeführt:

- Bestandsaufnahme und Bewertung der deutschen Freigabepraxis (AP 1)
  - Bestandsaufnahme aller der Freigabe in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) zu Grunde liegenden radiologischen Modelle, ihrer Szenarien, Expositionspfade und Parameter (AP 1.1)
  - Identifizierung und Bewertung von Randbedingungen (AP 1.2)
  - Gegenüberstellung der Szenarien aus der EURATOM-Richtlinie mit denen aus der StrlSchV (AP 1.3)
- Abgleich von Stoff- und Massenströmen mit Freigabepfaden und Modellannahmen (AP 2)
- Entwicklung und Auswahl von standardisierten Kriterien zur Bewertung radiologischer Expositionsszenarien für allgemeine, generische Zwecke (AP 3)
- Anwendung von rechnerbasierten Methoden zur Berechnung von Freigabewerten (AP 4).

4. DURCHFÜHRUNG

Im AP 1.1 wurden im Berichtszeitraum die den Freigabepfaden der uneingeschränkten Freigabe von festen und flüssigen Stoffen, Bauschutt und Bodenaushub, Bodenflächen und Gebäuden zur Wieder- und Weiterverwendung und der spezifischen Freigabe von festen Stoffen zur Beseitigung auf Deponien, von Stoffen zur Beseitigung in einer Verbrennungsanlage, von Gebäuden zum Abriss und von Metallschrott zur Rezyklierung zu Grunde liegenden radiologischen Modelle aus den entsprechenden Forschungsberichten und Stellungnahmen recherchiert, extrahiert und aufbereitet. Für jeden Freigabepfad wurden die zugehörigen Expositionsszenarien, deren zugehörige Rechenvorschriften und zu benutzende Parameter zusammengestellt. In zwei Treffen wurden die Ergebnisse der Bestandsaufnahme mit Vertretern des Öko-Institutes, die im Rahmen ihres Unterauftrages ebenfalls eine Bestandsaufnahme durchgeführt haben, diskutiert und abgeglichen. Die Ergebnisse der Treffen flossen in den Bericht zu diesem AP ein.

Auf der Grundlage der Ergebnisse im AP 1.1 wurden im AP 1.2 die Randbedingungen identifiziert und deren Herkunft recherchiert. Analog zur Voruntersuchung wurden für die anderen Freigabepfade Parameter und Randbedingungen recherchiert. Die Ergebnisse werden in einem eigenen Bericht zu diesem AP zusammengefasst.

Die Arbeiten im AP 1.3 wurden fortgesetzt, und die aus den AP 1.1 und AP 1.2 identifizierten Szenarien, Parameter und Randbedingungen in Tabellen eingetragen, um die entsprechenden Angaben denjenigen der generalisierten Einzelszenarien aus dem Safety Report 44 gegenüberzustellen.

Im AP 2 wird untersucht, inwieweit die prognostizierten Stoff- und Massenströme, die den Modellen der Strahlenschutzverordnung zu Grunde liegen, mit den tatsächlichen Werten übereinstimmen, und insbesondere, wie sich die Stoff- und Massenströme geographisch verteilen. Es wird auch die Frage untersucht, ob es in der Praxis veränderte Verfahrenstechniken bei der Aufbereitung von Freigabeabfällen (Dekontaminationsschritte, Vorbehandlung etc.) gibt, die nicht durch die derzeitigen Modelle abgedeckt werden, und ob wesentliche Modellannahmen auf Grund einer veränderten Praxis noch haltbar sind oder diese durch neue Annahmen ersetzt werden müssen.

Im AP 3 werden standardisierte Kriterien entwickelt und ausgewählt, um radiologische Expositionsszenarien für allgemeine generische Zwecke zu bewerten. Es werden definierende Mindeststandards festgelegt, die ein radioökologisches Expositionsszenario zur Freigabe für generische Zwecke als hinreichend repräsentativ und wahrscheinlich qualifizieren.

Kriterien zur Bewertung von radiologischen Expositionsszenarien wurden identifiziert, aufgestellt und beschrieben. Es wurde eine Bewertungsmatrix entwickelt, mit der sich prinzipiell gegebene Expositionsszenarien bewerten lassen. Darüber hinaus wurden definierende Mindeststandards festgelegt, die ein radioökologisches Expositionsszenario zur Freigabe für generische Zwecke als hinreichend repräsentativ und wahrscheinlich qualifizieren.

Neben der eigentlichen Berechnung von Freigabewerten wird im AP 4 besonders auf eine ausführliche und nachvollziehbare Dokumentation der durchgeführten Rechenschritte geachtet. Die GRS verwendet dabei ausgewählte, frei erhältliche Rechencodes wie Geant4, ARTM, PHREEQC und SPRING. Die Plausibilität der Ergebnisse wird durch Vergleichsrechnungen anderer Organisationen überprüft (Benchmarking). Für die Durchführung der Vergleichsrechnungen wurden Brenk Systemplanung und das Öko-Institut als Unterauftragsnehmer ausgewählt.

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse zu AP 1.1, AP 1.2 und AP 1.3 wurden in einem separaten Bericht zusammengefasst. Der Bericht zum AP 1.1 wurde entsprechend der Vorschläge des Öko-Institutes ergänzt.

Die Arbeiten im AP 2 zur Recherche, Datenerfassung und Auswertung der jährlichen Meldungen zu freigegebenen Stilllegungsmassen und ihrer Stoffströme an die zuständigen Aufsichtsbehörden für die Anlagen KKR[1)], KWL[2)] und KGR[3)] in den Zeiträumen 2009 bis 2016 wurden abgeschlossen.

Die Ergebnisse aus dem AP 3 wurden in einem separaten Bericht zusammengefasst.

[1)] Kernkraftwerk Rheinsberg
[2)] Kernkraftwerk Lingen
[3)] Kernkraftwerk Greifswald

Im AP 4 wurden für die 15 ausgewählten Radionuklide Rechnungen von potenziellen Dosen durch die Freigabe zur Beseitigung durchgeführt. Für die vorgegebenen Radionuklide wurden für alle Szenarien, die der Berechnung der Freigabewerte der Tabelle 1, Anlage III Spalten 9a-9d der StrlSchV (2011) zu Grunde liegen, die entsprechenden Freigabewerte bestimmt. Dabei wurden sowohl die Parametersätze von Brenk Systemplanung wie auch der SSK-Empfehlung von 2006 zugrunde gelegt. Die Dosiskoeffizienten für die unterschiedlichen Expositionsgeometrien wie Transport, Eingang Deponie etc. zur Berechnung der äußeren Strahlenexposition wurden sowohl mit MicroShield als auch mit dem Programmpaket Géant 4 nachgerechnet. Die Radionuklidaktivitäten im Grundwasserpfad der Deponien wurden mit Spring berechnet. Die Radionuklidaktivitäten im Sicker-/Oberflächenwasserpfad der Deponien wurden mit Spring und PHREEQC berechnet. Die Radionuklidaktivitäten bei der luftgetragenen Ausbreitung und die resultierenden potenziellen Dosen für Personen der Bevölkerung wurden mit dem Programmpaket ARTM und DARTM bestimmt.

Die Plausibilität der Ergebnisse wurde durch einen Vergleich (Benchmarking) der Ergebnisse mit den Rechnungen von Brenk Systemplanung und dem Öko-Institut überprüft. Hierzu wurden im Zeitraum Juli bis November 2019 mehrere Treffen durchgeführt. Bei den Rechnungen des Öko-Institutes wurden die bei den Freigabewerten der StrlSchV teilweise veränderten Parameter der SSK von 2006 zugrunde gelegt. Durch die unterschiedlichen Rechenmethoden konnten modellspezifische Unterschiede identifiziert werden. Die Ergebnisse werden ausführlich im Bericht zum AP 4 zusammengefasst.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeitspakte werden entsprechend ihrer Fragestellungen weiterbearbeitet.

Thema Erfassung der aktuellen Kontaminationssituation bei Wildschweinen in Deutschland **Subject** *Assessment of contamination levels of wild boar (Sus scrofa) in Germany*			
Kennzeichen 3617S52531	**Beginn** 01.10.2017	**Ende** 30.09.2020	**Fördermittel** EUR 258.248,-
Forschungs- / Auftragnehmer Dr. Fielitz Umweltanalysen, Hambühren			
Projektleitung Dr. U. Fielitz	**Fachbetreuung BfS** Dr. P. Hartmann / UR 6	**verantwortlich für den Text** Dr. U. Fielitz	

1. ZIELSETZUNG

Sus scrofa (Wildschwein) ist die einzige Tierart, die auch 30 Jahre nach dem Tschernobyl-Fallout in einigen Gebieten der Bundesrepublik noch deutlich erhöhte Cs-137-Kontaminationen aufweist. Dabei ist die Variabilität der Cs-137-Messwerte sowohl innerhalb als auch zwischen verschiedenen Populationen sehr groß. Die wesentliche Kontaminationsquelle sind die Hirschtrüffeln.

In diesem Forschungsvorhaben soll die Kontaminationssituation von Wildschweinen anhand aktueller Daten aus 3 Untersuchungsgebieten (Bodenmais, Dahn und Zusmarshausen) über 3 Jahre evaluiert werden.

Das Vorhaben ist in 3 Arbeitspakete (AP) unterteilt:

- Erhebung von Informationen zu Jagdstrecke und Abschussgewichten (AP 1)
- Probennahme und Messung von Hirschtrüffeln in den Untersuchungsgebieten (AP 2)
- Probennahme und Messungen an Muskelfleischproben von Wildschweinen (AP 3).

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 PROBENNAHME UND MESSUNG VON HIRSCHTRÜFFELN IN DEN UNTERSUCHUNGSGEBIETEN (AP 2)

Im zweiten Arbeitspaket wurde die Cs-137-Aktivität von Hirschtrüffeln sowie deren Biomasse exemplarisch in den 3 Untersuchungsgebieten ermittelt. Die Inventarbestimmung der Hirschtrüffeln soll erstmals eine Abschätzung der für Wildschweine potenziell verfügbaren Fruchtkörpermasse ermöglichen. Dazu wurden in einem definierten Waldbodenvolumen alle vorhandenen Fruchtkörper erfasst.

2.2 PROBENNAHME UND MESSUNGEN AN MUSKELFLEISCHPROBEN VON WILDSCHWEINEN (AP 3)

Ziel von AP 3 ist die Dokumentation und Evaluierung der Cs-137-Kontamination von Wildschweinen aus den Untersuchungsgebieten, wo auch Hirschtrüffeln untersucht werden. Dazu werden pro Jahr 50 Wildschweinproben aus jedem Gebiet gammaspektrometrisch gemessen (450 Proben insgesamt).

3. METHODIK

3.1 HIRSCHTRÜFFELSUCHE AN RASTERPUNKTEN

Die Untersuchung der Hirschtrüffeln erfolgte in jedem Untersuchungsgebiet an 15 Rasterpunkten, die das Gebiet weitgehend gleichmäßig abdecken. Von jedem Rasterpunkt aus wurde die Suche nach Hirschtrüffeln gestartet. Die Fruchtkörper wurden anhand von Standortfaktoren und an Wühlstellen von Wildscheinen gefunden. Als standardisiertes Bezugsvolumen wurden die Hirschtrüffeln jeweils auf einer Fläche von 2 x 2 Meter bis in 0,25 Meter Bodentiefe gesucht.

3.2 BESCHAFFUNG VON WILDSCHWEINPROBEN

Wildschweine haben sich in den letzten Jahrzehnten in Deutschland stark vermehrt. Der überwiegende Teil der jährlichen Erlegungen erfolgt in vielen Gebieten von Oktober bis Mitte Februar, auf großen Gesellschaftsjagden, was auch für die Untersuchungsgebiete zutrifft. In Bodenmais werden darüber hinaus Wildschweine auf Grund des steilen Geländes auch ganzjährig durch Einzelansitz erlegt.

Da die Beschaffung der Proben erfahrungsgemäß schwierig ist, wurde schon am 01.09.2017 intensiv mit dem AP 3 begonnen, um Proben von den Gesellschaftsjagden im Herbst zu erhalten.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 WILDSCHWEINE - PROBENAUFARBEITUNG UND CS-137-AKTIVITÄTSBESTIMMUNG

Den Forstdienststellen wurde Verpackungsmaterial für den Versand der Wildschweinproben zur Verfügung gestellt. Folgende Daten wurden für jedes erlegte Wildschwein erfasst: Forstamt, Erlegungsdatum, jagdliche Klasse, Geschlecht, Jagdart und Erlegungsgewicht [kg].

Die Muskelfleischproben wurden überwiegend tiefgefroren und per Post an das Labor für Radionuklide (LARI) der Universität Göttingen angeliefert. Das aufgetaute Muskelfleisch wurde homogenisiert und in 120 ml Messgefäße eingewogen. Die Messung der Proben erfolgte an Reinstgermaniumdetektoren. Die Messzeiten betrugen, je nach Aktivität der Probe, 6 bis 24 Stunden.

5. ERGEBNISSE

5.1 BIOMASSENVORKOMMEN VON HIRSCHTRÜFFELN (AP 2)

Die Ergebnisse der Hirschtrüffel-Inventur sind in der Tabelle 1, bezogen auf Frischgewichte, dargestellt. Die gesamte Fruchtkörperbiomasse war im Untersuchungsgebiet Bodenmais mit 4 799 g fast 4mal so hoch wie in Dahn mit 1 234 g. Die Verteilung der Messwerte war in Bodenmais und Zusmarshausen rechtsschief, mit Ausreißern zu hohen Werten. In Bodenmais wurden an 2 Rasterpunkten mit 936 g und 1 027 g deutlich höhere Gesamtfrischgewichte ermittelt als an den übrigen.

Der Median der Biomassen ist mit 205 g in Bodenmais deutlich höher als in Zusmarshausen mit 96 g und Dahn mit 71 g.

Tabelle 1: Statistische Daten der Gesamtfrischgewichte von Hirschtrüffeln an je 15 Rasterpunkten pro Untersuchungsgebiet (Boden Suchvolumen jeweils 2 x 2 x 0,25 m)

Gesamtfrischmasse	Bodenmais	Zusmarshausen	Dahn
Summe	4 799 g	2 763 g	1 234 g
Mittelwert	320 g	184 g	82 g
Median	205 g	96 g	71 g

Die schwerste Hirschtrüffel mit 17,6 g wurde in Zusmarshausen gefunden, in Bodenmais war das Maximalgewicht 12,3 g und in Dahn 10,1 g.

Die mittlere Bodentiefe der Fundstellen betrug in allen 3 Untersuchungsgebieten 8 -12 cm (mit einer Abweichung von je 1 cm). In diesem Bodenbereich treffen an vielen Standorten Auflagehumus und Ah Horizont aufeinander. Hier befindet sich in vielen Waldgebieten auch Jahrzehnte nach dem Tschernobyl-Fallout der Peak der Cs-137-Aktivität.

5.2 CS-137-AKTIVITÄT VON HIRSCHTRÜFFELN (AP 2)

Aus jedem Untersuchungsgebiet wurde die Cs-137-Aktivität einer Hirschtrüffel pro Rasterpunkt bestimmt. Der Minimalwert betrug, bezogen auf Frischsubstanz (FS), 226 Bq/kg, der Maximalwert 16 908 Bq/kg (Tabelle 2).

Die Spannweite der Messwerte reichte in Dahn von 226 Bq/kg bis 5 638 Bq/kg FS, in Bodenmais von 941 Bq/kg bis 10 370 Bq/kg. In Zusmarshausen lagen die Werte zwischen 851 Bq/kg und 16 908 Bq/kg und damit am weitesten auseinander.

Tabelle 2: Statistische Daten zur Cs-137-Aktivität von Hirschtrüffeln

	Bodenmais	Zusmarshausen	Dahn
	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Mittelwert	5 408	6 388	1 877
Median	3 460	5 208	1 345
Minimalwert	941	851	226
Maximalwert	10 370	16 908	5 638

5.3 CS-137-KONTAMINATION VON WILDSCHWEINEN (AP 3)

Vom 01.09.2017 bis 31.12.2019 wurden Muskelfleischproben von 376 Wildschweinen durch die Forstdienststellen angeliefert (Bodenmais 129, Dahn 123 und Zusmarshausen 124). Bisher wurden 355 Proben auf Cs-137-Aktivität gemessen.

Die Cs-137-Kontamination der Wildschweine schwankte in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit einzelner Nahrungskomponenten innerhalb eines Untersuchungsgebietes saisonal, wobei die Variabilität der Messwerte bis zu drei Größenordnungen betrug.

Die Werte reichten von 0,6 Bq/kg (Dahn) bis 16 704 Bq/kg (Bodenmais). Der Median der Messwerte von 2 857 Bq/kg in Bodenmais zeigt die deutlich höhere Cs-137-Kontamination der Wildschweinpopulation im Vergleich zu Dahn mit 7,5 Bq/kg und Zusmarshausen mit 118 Bq/kg.

In Mastjahren waren Wildschweine deutlich geringer kontaminiert als in mastfreien Jahren.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Cs-137-Messungen an Muskelfleisch von Wildschweinen aus den 3 Untersuchungsgebieten werden fortgesetzt. Der Abschlussbericht wird erstellt.

Thema			
Evaluierung des aktuellen Standes bei der Überwachung der Ableitung von radioaktiven Stoffen mit der Fortluft und dem Abwasser in Medizin und Industrie			
Subject			
Evaluation of the current status in monitoring the discharge of radioactive substances with the exhaust air and water in medicine and industry			
Kennzeichen 3619S52560	**Beginn** 01.07.2019	**Ende** 30.06.2020	**Fördermittel** EUR 68.050,-
Forschungs- / Auftragnehmer TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG, Hamburg			
Projektleitung O. Mende	**Fachbetreuung BfS** A. Heckel / UR 3	**verantwortlich für den Text** A. Heckel, O. Mende	

1. ZIELSETZUNG

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) ist verpflichtet, der Europäischen Kommission jährlich über die Aktivitätsableitungen von kerntechnischen Anlagen mit der Fortluft und dem Abwasser Bericht zu erstatten. Die Daten fließen auch in die Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung ein, über die der Öffentlichkeit berichtet wird. Darüber hinaus bestehen Berichtspflichten des BMU auf Grund von OSPAR[1]. Durch das Vorhaben, das die Bereiche bzw. Einrichtungen mit möglichen Ableitungen radioaktiver Stoffe sowie die bereits stattfindende Überwachung und Bilanzierung der Ableitungen eruieren soll, soll eine Grundlage für eine Entscheidung geschaffen werden, ob eine Emissionsüberwachung analog zur derzeit durchgeführten Überwachung der kerntechnischen Einrichtungen auch für nicht-kerntechnische Einrichtungen in den Bereichen Forschung, Medizin und Industrie durchgeführt werden sollte.

2. EINZELZIELSETZUNG

In der Studie sollen nicht-kerntechnische Einrichtungen in Deutschland betrachtet werden. Ableitungen aus dem NORM/TNORM[2]-Bereich und aus genehmigungsfreien Tätigkeiten sowie Störfall- oder Unfallszenarien sollen dabei außer Acht gelassen werden. Die Studie teilt sich in die drei im Folgenden dargestellten Arbeitspakete (AP).

2.1 ERMITTLUNG VON POTENZIELLEN EMITTENTEN RADIOAKTIVER STOFFE MIT DER FORTLUFT UND DEM ABWASSER AUS DEN BEREICHEN FORSCHUNG, MEDIZIN UND INDUSTRIE (AP 1)

Es soll erfasst werden, welche Einrichtungen in den Bereichen Forschung, Medizin und Industrie potenzielle Emittenten von radioaktiven Stoffen darstellen. Hierbei wird abgeschätzt, welche radioaktiven Stoffe in welcher Höhe kontinuierlich bzw. diskontinuierlich von den ermittelten Emittenten mit der Fortluft und mit dem Abwasser in die Umwelt abgeleitet werden.

2.2 EMISSIONSÜBERWACHUNG (AP 2)

Für die potenziellen Emittenten soll ermittelt werden, auf welchen gesetzlichen Grundlagen eine Emissionsüberwachung fußt und welche weiteren Rahmenbedingungen für die Emittenten gelten. Ferner soll eruiert werden, ob die Emissionsüberwachung kontinuierlich erfolgt, ob die abgeleiteten Aktivitäten durch Direktmessungen oder Labormessungen ermittelt werden, welche Messgeräte eingesetzt werden, wie die Probenahme erfolgt, welche Verfahren bei der Ermittlung der Aktivitätsableitungen eingesetzt werden und welche Nachweisgrenzen gefordert bzw. erreicht werden.

---

[1] Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-Atlantiks (Oslo-Paris Konvention)
[2] *naturally occurring radioactive material / technologically enhanced naturally occurring radioactive material*

2.3 BILANZIERUNG (AP 3)

Hinsichtlich der Bilanzierung soll ermittelt werden, auf welcher rechtlichen Grundlage und auf welche Weise die Bilanzierung erfolgt, ob aus der jeweiligen Aktivitätsableitung die zusätzliche Strahlenbelastung von Einzelpersonen der Bevölkerung berechnet wird, in welcher Relation diese zusätzliche Strahlenbelastung zur Strahlenexposition aus den Ableitungen kerntechnischer Anlagen steht und welche Berechnungsverfahren angewandt werden.

3. METHODIK

Als Grundlage zur Evaluierung der möglichen Emittenten radioaktiver Stoffe sowie der verschiedenen Messmethoden, Messgeräte und Messverfahren zur Überwachung der Aktivitätsableitungen samt der Bilanzierung dient eine Literaturrecherche. Dabei werden Anwendungsbereiche mit offenen radioaktiven Stoffen oberhalb der Freigrenzen, Bereiche, in denen mit Abfallgebinden mit flüchtigen gasförmigen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, sowie Bereiche mit ionisierender Strahlung, bei der durch Aktivierung hervorgerufene Ableitungen möglich sind, ermittelt. Ergänzt werden die Ergebnisse der Literaturrecherche vor allem durch anonymisierte Befragungen von Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden sowie durch die Betrachtung von Lieferprogrammen einschlägiger Lieferanten radioaktiver Stoffe und messtechnischer Überwachungseinrichtungen für Ableitungen, durch stichprobenartige anonymisierte Befragungen von Betreibern sowie durch das Erfahrungswissen des Auftragnehmers.

Hinsichtlich der Notwendigkeit zur Überwachung und Bilanzierung wird das geltende nationale und europäische Recht herangezogen und dabei auch betrachtet, welche Entscheidungsbasis als Grundlage von entsprechenden Festlegungen in Genehmigungsbescheiden herangezogen wird. Hinsichtlich der Praxis der Bilanzierung kommt der anonymisierten stichprobenartigen Befragung von Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden sowie Betreibern eine hohe Bedeutung zu.

4. DURCHFÜHRUNG

Es wurde im Rahmen des im Berichtszeitraum bearbeiteten AP 1 eruiert, welche Einrichtungen in den Bereichen Forschung, Medizin und Industrie potenzielle Emittenten von radioaktiven Stoffen darstellen. Dabei wurde auch abgeschätzt, welche radioaktiven Stoffe in welcher Höhe kontinuierlich bzw. diskontinuierlich von den ermittelten Emittenten mit der Fortluft und mit dem Abwasser in die Umwelt abgeleitet werden.

5. ERGEBNISSE

In dem Berichtszeitraum wurde AP 1 abgeschlossen. Die Ergebnisse wurden in einem eigenständigen Bericht dokumentiert und zusammengefasst.

5.1 ERMITTLUNG VON POTENZIELLEN EMITTENTEN RADIOAKTIVER STOFFE MIT DER FORTLUFT UND DEM ABWASSER AUS DEN BEREICHEN FORSCHUNG, MEDIZIN UND INDUSTRIE

Bei der Ermittlung potenzieller Emittenten radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus den Bereichen Forschung, Medizin und Industrie wurden Einrichtungen, bei denen in Deutschland eine Ableitung denkbar ist, zusammengestellt. Soweit wie möglich wurden Größenordnungen der zu erwartenden Ableitungen ermittelt oder alternativ die möglichen Ableitungen abdeckend abgeschätzt.

Als die Bereiche mit den höchsten Aktivitäten bei den Ableitungen wurden die medizinische Diagnostik inklusive der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und die ambulante Therapie, die Großforschungseinrichtungen sowie die Hersteller radioaktiver Stoffe identifiziert. Im Bereich der Entsorgung und Konditionierung radioaktiver Stoffe kommen ebenfalls hohe Aktivitäten bei den genehmigten Ableitungswerten vor. Allerdings werden diese real deutlich unterschritten, wobei dies insbesondere bei Konditionierungseinrichtungen von den jeweils aktuell zu verarbeitenden Stoffen abhängt.

Im medizinischen Bereich überwiegen die Ableitungen mit dem Abwasser, wobei hier im Wesentlichen die Radionuklide C-11, F-18, Ga-68, Tc-99m, In-111, I-123 und I-131 zu nennen sind. Hierbei werden die höheren Aktivitäten während der Betriebszeiten kontinuierlich abgeleitet.

Bei Großforschungseinrichtungen werden tendenziell mehr Aktivitäten mit der Fortluft als mit dem Abwasser abgeleitet, die Ausnahme hierbei ist die Ableitung von Tritium. Bei den Ableitungen mit der Fortluft treten z. B. C-11, N-13, F-18, Ar-41 oder Kr-85 auf. Die Ableitung mit der Fortluft erfolgt kontinuierlich in Abhängigkeit der Betriebszustände und die Ableitung mit dem Abwasser erfolgt üblicherweise diskontinuierlich über Abwassertanks.

Bei den Herstellern radioaktiver Stoffe ist keine klare Dominanz eines Ableitungspfades festzumachen. Für den Fortluftpfad sind als mögliche Radionuklide z. B. Tritium, Kr-85, I-125, I-131 und Rn-222 zu nennen und für den Abwasserpfad z. B. Tritium, C-14, S-35, Sr-90, I-125, I-131, Cs-137, Gd-135 oder Am-241. Bei der Herstellung von Radiopharmaka für den Bereich der PET treten vor allem Ableitungen mit der Fortluft und F-18 auf. Die Ableitung mit der Fortluft erfolgt in diesem Bereich kontinuierlich in Abhängigkeit der Betriebszustände und die Ableitung mit dem Abwasser erfolgt üblicherweise diskontinuierlich über Abwassertanks.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Auf Grundlage der im Rahmen des AP 1 erzielten Ergebnisse werden die Emissionsüberwachung (AP 2) und die Bilanzierung (AP 3) der potenziellen Emittenten unter Anwendung der bei der Methodik dargestellten Vorgehensweise ermittelt.

3.6 Themenbereich 06
Notfallschutz

3.6 Subject area 06
Emergency management

Thema			
Ergänzung der Quelltermdatenbank des Entscheidungshilfesystems RODOS für Freisetzungen aus dem RDB bei Nichtleistungsbetriebszuständen in Kernkraftwerken			
Subject			
Extension of the source term data bank of the decision support system RODOS for the release from the RPV during shutdown modes			
Kennzeichen 3617S62560	**Beginn** 28.05.2018	**Ende** 15.05.2020	**Fördermittel** EUR 221.436,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlangen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung M. Kowalik	**Fachbetreuung BfS** N. Zander / RN 2	**verantwortlich für den Text** M. Kowalik	

1. ZIELSETZUNG

Dieses Vorhaben dient der Abschätzung von Quelltermen bei einem schweren Störfall in einem Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor (DWR) während des Nichtleistungsbetriebs (NLB). Auf der Basis einer Quelltermbibliothek können unter Verwendung von dem GRS-eigenen Programm FaSTPro (Fast Source Term Prognosis) Prognosen für Quellterme erzeugt werden. Solche Prognosen können als Grundlage für Schutzmaßnahmen im Falle einer Krisensituation verwendet werden. Die von FaSTPro prognostizierten Quellterme sind derart gestaltet, dass sie mit dem vom BfS verwendeten Entscheidungshilfesystem RODOS (Realtime Online Decision Support System) kompatibel sind, und können als Eingabe für entsprechende Rechnungen zur Ausbreitung von Radionukliden verwendet werden.

Die Quellterme sind das Ergebnis von Simulationen, die in diesem Vorhaben mit dem Integralcode MELCOR erstellt werden. Solche Simulationen sind in den Vorhaben 3612R01361 (Freisetzung aus dem RDB[1)]) und 3614S60033 (Freisetzung aus Brennelementlagerbecken) für den NLB durchgeführt worden. Die Bestimmung von Quelltermen ist nach dem damaligen Stand von Wissenschaft und Technik geschehen. Dieser Status unterliegt einem stetigen Wandel, sowohl in Hinsicht auf die physikalische Modellierung im Rechenprogramm selbst als auch in Bezug auf die Anlagenmodellierung, die im Verantwortungsbereich des Anwenders zu verorten ist. Im ersteren Falle manifestiert sich der Status physikalischer Modellierungen in neuen MELCOR-Versionen, die z. B. neue Modelle für die Oxidation der Hüllrohre mit Wasserdampf oder Luftsauerstoff aufweisen. In Hinsicht auf die Anlagenmodelle sei beispielsweise die Modellierung der Reaktorgrube für die Schmelze-Beton-Wechselwirkung genannt.

Somit ist es Ziel, neue Quellterme aus dem NLB (Brennelemente vollständig im RDB) zu erzeugen, die dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen. Einer der aktualisierten Quellterme soll mit dem entsprechenden Szenario als Grundlage für eine Notfallübung dienen.

Ferner sollen die Arbeiten für eine NLB-Version von FaSTPro weitergeführt werden, wobei Entwicklungsarbeiten aus einem anderen Vorhaben genutzt werden sollen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Folgenden werden die einzelnen Zielsetzungen des Projektes kurz erläutert.

2.1 IDENTIFIZIERUNG DER RANDBEDINGUNGEN BEI UNFÄLLEN IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB

Für die weiteren, unten genannten Zielsetzungen sind MELCOR-Simulationen für die Quelltermbestimmung durchzuführen. Hierfür sind Unfallablaufsequenzen mit zugehörigen auslösenden Ereignissen zu identifizieren, die signifikante radiologische Folgen für die Umgebung erwarten lassen. Diese Identifikation geschieht unter Beachtung von spezifischen NLB-Anlagenzuständen. Die Anzahl der Sequenzen ist zu begrenzen, da

[1)] Reaktordruckbehälter

eine Simulation einen erheblichen Aufwand in Form der Einstellung in den Eingabedatensätzen und der Pflege der Rechnungen bedeutet.

2.2 BERECHNUNG DER EREIGNISVERLÄUFE IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB MIT DEM INTEGRALCODE MELCOR

Anhand der ausgewählten, zu berechnenden Unfallablaufsequenzen werden die Anfangs- und Randbedingungen für die MELCOR-Simulationen definiert und in die Eingabedatensätze eingetragen. Auf Basis der Ergebnisse dieser Simulationen wird die zusammenfassende Erarbeitung eines Satzes von Quelltermen zur Eingabe in die RODOS-Quelltermbibliothek für typische Unfallabläufe im NLB in DWR/Konvoi-Blöcken unter Beachtung von Ergebnissen der genannten Vorarbeiten vorgenommen.

2.3 ENTWICKLUNG EINER AKTUALISIERTEN FASTPRO-VERSION FÜR DIE NICHTLEISTUNGSBETRIEBSZUSTÄNDE

Mit Hilfe der aus Zielsetzung 2.2 stammenden Quellterme wird eine aktualisierte Version von FaSTPro für den NLB erstellt. Hiermit wird die Prognosesicherheit für Quellterme aus dem NLB verbessert, da die zugrunde liegenden Quellterme dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen werden.

2.4 ERSTELLUNG VON AUF DEN GEWONNENEN ERKENNTNISSEN BASIERENDEN ÜBUNGSUNTERLAGEN FÜR NOTFALLÜBUNGEN

Für die Durchführung einer Notfallübung für das Radiologische Lagezentrums des Bundes sind für Unfälle beim NLB entsprechende Übungsunterlagen zu erstellen. Hierfür ist zunächst eine geeignete Unfallsequenz aus dem Spektrum der Unfallsequenzen auszuwählen, die mit MELCOR simuliert worden sind. Dies geschieht in Absprache mit dem Auftraggeber. Für die Unterlagen sind Meldungen zum Anlagenzustand auf der Basis möglicher anlagentechnischer Ereignis- und zeitabhängiger Parameterverläufe schriftlich niederzulegen, die das Kraftwerk in einem Krisenfall übergeben würde.

2.5 DURCHFÜHRUNG EINER NOTFALLÜBUNG

Mit Hilfe der aus Zielsetzung 2.4 stammenden Notfallunterlagen ist ein Übungsdrehbuch zu erstellen und eine Notfallübung für das Radiologische Lagezentrum des Bundes vorzubereiten, durchzuführen und auszuwerten. Dies geschieht anhand der ebenfalls mit der aus Zielsetzung 2.4 stammenden Wahl der Unfallsequenz in einer kerntechnischen Anlage. Hierbei soll das Zusammenspiel verschiedener Behörden im Radiologischen Lagezentrum des Bundes für einen solchen Unfall eingeübt werden.

In Absprache mit dem Auftraggeber konzentriert sich dabei die Zielsetzung darauf, dass den Zuhörern eine Darstellung einer Notfallübung mit den Besonderheiten des NLB im Rahmen eines Projektgespräches vermittelt werden soll.

3. METHODIK

Im Folgenden soll kurz die Methodik der einzelnen Zielsetzungen beschrieben werden, die eine Durchführung der entsprechenden Arbeiten ermöglicht.

3.1 IDENTIFIZIERUNG DER RANDBEDINGUNGEN, MIT DENEN BEI DER ANALYSE VON UNFÄLLEN IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB ZU RECHNEN IST

Für die Identifizierung der Anfangs- und Randbedingungen von Unfallabläufen ist die Relevanz der einzelnen Unfallsequenzen zu berücksichtigen, welche sich einerseits aus der Häufigkeit der Sequenz (PSA[1)] Stufe 1) und andererseits aus der Schwere der Folgen ergibt. Somit können auch solche Sequenzen berücksichtigt werden, die probabilistisch gesehen relativ selten sind, sich jedoch durch eine besondere Schwere auszeichnen oder besondere Phänomene hervorbringen.

[1)] probabilistische Sicherheitsanalyse

3.2 BERECHNUNG DER EREIGNISVERLÄUFE IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB MIT DEM INTEGRALCODE MELCOR

Die festgelegten Anfangs- und Randbedingungen werden für eine Berechnung der identifizierten Sequenzen in die entsprechenden MELCOR-Eingabedatensätze umgesetzt. Dies geschieht mittels der von MELCOR zur Verfügung gestellten Modellierungsgegenstände, welche in Kontrollvolumen, Strömungspfaden, Wärmestrukturen und Kontrollfunktionen bestehen.

Eigenarten des NLB bestehen dabei z. B. in einem entfernten Deckel des Reaktordruckbehälters (RDB), dessen Kontrollvolumen im Modell entsprechend mit einem Volumen des SHB[1)] mittels eines Strömungspfades zu verbinden ist. Andere technische Einstellungen wie Füllstandsabsenkungen oder die Nachkühlung werden mittels einer Massensenke und einer Steuerung durchgeführt, die durch geeignete Kontrollfunktionen realisiert werden.

3.3 ENTWICKLUNG EINER AKTUALISIERTEN FASTPRO-VERSION FÜR DIE NICHTLEISTUNGSBETRIEBSZUSTÄNDE

Zur Aktualisierung der NLB-Version des Prognoseprogramms FaSTPro ist zunächst eine Bearbeitung und Erprobung des BBN (Bayesian Belief Network) notwendig. Weiterhin sind die an den Anwender gestellten Fragen zu programmieren, die den aktuellen Anlagenzustand definieren. Ferner ist die spezifische FaSTPro-interne Quelltermberechnung für den NLB einzubringen. Hierzu gehört auch die Anpassung der Zeitabläufe der Ereignissequenz der Unfallszenarien.

3.4 ERSTELLUNG VON AUF DEN GEWONNENEN ERKENNTNISSEN BASIERENDEN ÜBUNGSUNTERLAGEN FÜR NOTFALLÜBUNGEN

Für die Erstellung der Notfallunterlagen ist eine geeignete, mit MELCOR simulierte NLB-Unfallsequenz auszuwählen. Dann sind die entsprechenden Anlageparameter zu definieren, die in den Meldungen der Anlage an das Radiologische Lagezentrum gesendet würden. Diese Parameter können physikalische wie Druck, Temperatur oder Ortsdosisleistung oder auch technische sein wie die Stellung von Ventilen oder die Verfügbarkeit von Systemen. Die entsprechenden Parameter sind der Simulation zu entnehmen, wobei der grobe Anlagenzustand relativ unabhängig von der Feinheit des Modells ist, so dass eine Präzise Auswahl wie etwa von Messstellen unnötig ist.

3.5 DURCHFÜHRUNG EINER DARAUF AUFBAUENDEN NOTFALLÜBUNG

Die Durchführung wird mit Behördenvertretern als Präsentation im Rahmen eines Projektgesprächs dargestellt, wobei auf die Besonderheiten des NLB eingegangen wird.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 IDENTIFIZIERUNG DER RANDBEDINGUNGEN, MIT DENEN BEI DER ANALYSE VON UNFÄLLEN IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB ZU RECHNEN IST

Eine detaillierte Auswertung der PSA der Stufe 1 wurde bereits im Vorhaben 3612R01361 durchgeführt, welche in der Auswahl von fünf Rechenfällen mündete. Eine Revision dieser hat zu einem Ausschluss des Falles DWR-NLB-C geführt, da dieser noch wesentliche Eigenarten des Leistungsbetriebes aufwies. Entsprechend sind die Fälle DWR-NLB-A/B/D und E als relevante Fälle für dieses Projekt ausgewählt worden. Ferner sind diese in MELCOR-Eingabedatensätzen unter Berücksichtigung der aktuellen Anlagenmodellierungen eingestellt worden.

4.2 BERECHNUNG DER EREIGNISVERLÄUFE IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB MIT DEM INTEGRALCODE MELCOR

Die im vorgelagerten Schritt eingestellten Rechenfälle sind mittels der neuesten MELCOR- Version 2.2_11932 weitgehend berechnet worden. Auf Grund von Instabilitäten dieser MELCOR-Version sind häufige Eingriffe des Anwenders notwendig gewesen, um die Rechnungen vorantreiben zu können. Weiterhin sind bei der jeweiligen Analyse zahlreiche Verbesserungsmöglichkeiten in den Eingabedatensätzen aufgefallen.

---

1) Sicherheitsbehälter

So hat z. B. die Modellierung des Einsatzes der Ringraumstörfallabsaugung nicht das gesamte Spektrum der Szenarien abgebildet. Weiterhin ist die Druckspeichereinspeisung mittels der bereits modelliert gewesenen Druckspeicher bewerkstelligt worden, wobei für NLB-B etwa eine langsamere Einspeisung im Sinne des Tippbetriebes berücksichtigt worden ist. In NLB-A ist weiterhin das Abschalten des Zusatzboriersystems mitberücksichtigt worden. Diese Auffälligkeiten haben zu mehreren Berechnungen der Sequenzen geführt, die erfolgreich abgeschlossen werden konnten, wie auch die entsprechende Analyse mit Dokumentation, die neben einer kurzen Unfallablaufbeschreibung eine präzise Auflistung der Mengen der radioaktiven Elementklassen beinhaltet.

4.3 ERSTELLUNG VON AUF DEN GEWONNENEN ERKENNTNISSEN BASIERENDEN ÜBUNGSUNTERLAGEN FÜR NOTFALLÜBUNGEN

Für die Erstellung von Notfallunterlagen sind aus der zugehörigen MELCOR-Simulation Anlagenparameter bei wesentlichen verfahrenstechnischen Eckpunkten mit den zugehörigen Eintrittszeitpunkten entnommen und in einen chronologischen tabellarischen Ablaufplan eingetragen worden. Abweichend vom Simulationsszenario, in dem die Schleuse direkt zu Ereignisbeginn geschlossen wird, steht diese in dieser Art der Beschreibung zunächst offen bis das Anlagenpersonal in der Lage ist, diese zu schließen. Da bis zu diesem Zeitpunkt in der Simulation kein substanzieller Druckanstieg zu verzeichnen ist, ist diese Variation mit der Simulation kompatibel.

Auf Basis von Informationen über den Anlagenzustand, die dem Anlagenpersonal in einem Unfallszenario zugänglich sind, ist ein möglicher Handlungsablauf beschrieben worden. Dieser umfasst z. B. die Durchführung von Handmaßnahmen oder von Reparaturmaßnahmen, die letztlich jedoch keinen stabilen Anlagenzustand zur Folge haben. Insbesondere sind dabei die Regelungen des Betriebshandbuchs und der Notfallunterlagen berücksichtigt worden, in denen z. B. die Einberufung der kraftwerksinternen Notfallorganisation und die Kriterien für Katastrophenvoralarm und Katastrophenalarm anhand von Eintrittskriterien geregelt sind.

Ferner ist die Kommunikation zwischen Anlage und Aufsichtsbehörde in Form telefonischer Sofortinformation, schriftlicher Erstinformation und zyklischer Lageberichte erstellt und in den Ablaufplan eingepflegt worden.

5. ERGEBNISSE

5.1 IDENTIFIZIERUNG DER RANDBEDINGUNGEN, MIT DENEN BEI DER ANALYSE VON UNFÄLLEN IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB ZU RECHNEN IST

Eine Identifizierung von Unfallsequenzen ist abgeschlossen, wobei eine weitgehende Übernahme der Sequenzen aus Vorhaben 3612R01361 durchgeführt worden ist. Lediglich eine Sequenz (DWR-NLB-C) ist ausgeschlossen worden.

5.2 BERECHNUNG DER EREIGNISVERLÄUFE IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB MIT DEM INTEGRALCODE MELCOR

Die Berechnung der Unfallsequenzen mittels MELCOR mit der neuesten Version 2.2_11932 hat zu entsprechenden Erfahrungen im Umgang mit dieser instabil laufenden Version zu Tage gefördert. Ferner haben Auffälligkeiten im Anlagenmodell zu einer Verbesserung dessen und entsprechenden Neuberechnungen geführt. Hierdurch ist das Verständnis für das Anlagenverhalten geschärft worden.

5.3 ERSTELLUNG VON AUF DEN GEWONNENEN ERKENNTNISSEN BASIERENDEN ÜBUNGSUNTERLAGEN FÜR NOTFALLÜBUNGEN

Die Erstellung der Notfallunterlagen ist abgeschlossen, wobei das ursprüngliche, eher auf dem Systemschadenszustand basierende Simulationsszenario für eine Notfallübung um mögliche Maßnahmen des Anlagenpersonals ergänzt worden ist. Hieraus lassen sich keine neuen Erkenntnisse ableiten, wohl aber führen derartige Überlegungen zu einem besseren Verständnis in Hinsicht auf die Möglichkeiten zu präventiven oder mitigativen Maßnahmen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeiten an den Unfallsimulationen sind abgeschlossen inklusive der entsprechenden Dokumentation, so dass die Arbeiten an der NLB-spezifischen FaSTPro-Version begonnen werden können. Ferner sind ebenfalls die Arbeiten an den Unterlagen einer Notfallübung abgeschlossen, so dass eine Präsentation im Rahmen eines Projektgesprächs vorbereitet werden kann.

Thema Überarbeitung des Maßnahmenkatalogs unter Berücksichtigung von Erfahrungen nach dem Unfall in Fukushima sowie von internationalen Entwicklungen in den letzten Jahren **Subject** *Revision of the Catalog of Protective Measures taking into account experiences after the Fukushima accident and international developments in recent years*			
Kennzeichen 3618S62571	**Beginn** 01.12.2018	**Ende** 31.10.2020	**Fördermittel** EUR 181.023,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung Dr. F. Meinerzhagen	**Fachbetreuung BfS** M. Werner / RN 2	**verantwortlich für den Text** Dr. F. Meinerzhagen, Dr. E. Mühr-Ebert	

1. ZIELSETZUNG

Der Maßnahmenkatalog der Strahlenschutzkommission, eine umfassende Zusammenstellung von Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor ionisierender Strahlung, soll überarbeitet und auf den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik gebracht werden. Bei der Überarbeitung soll ein übersichtliches und effektiv nutzbares Dokument erzeugt werden, das als Grundlage für die Entscheidungsfindung zur Einleitung von Maßnahmen durch die entsprechenden verantwortlichen Stellen, die Zielgruppe des Maßnahmenkatalogs, genutzt werden kann.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Bezugnehmend auf die Maßnahmen und weiteren Inhalte des Maßnahmenkatalogs der Strahlenschutzkommission soll der relevante Stand von Wissenschaft und Technik aufbereitet und als eigenständiger Bericht dargestellt werden. Dabei sind die Maßnahmen des Maßnahmenkatalogs der Strahlenschutzkommission aufzuführen, kurz darzulegen und ihre zukünftige Verwendbarkeit zu prüfen. Der Sachstand aus nationalen und internationalen Veröffentlichungen, aus Beratungsergebnissen von Gremien sowie aus Erkenntnissen des Reaktorunfalls in Japan sind zu berücksichtigen. Auch die Praktikabilität, zeitgemäße Verwendung und zukünftige Anwendbarkeit der beschriebenen Maßnahmen sind in dem Bericht zu beachten.

2.2 ERSTELLUNG EINES ENTWURFS EINES MAßNAHMENKATALOGS

Als Teil der Überarbeitung des Maßnahmenkatalogs wird ein Entwurf erstellt, der eine Zuordnung von Maßnahmen inklusive einer angemessenen Darstellung zentraler Angaben einer Maßnahme enthält. Jede Maßnahme soll dabei Informationen über ihre Anwendbarkeit gemäß den Referenzszenarien und den Notfallphasen des allgemeinen Notfallplans des Bundes enthalten. Auch soll die Wirkung der Maßnahme auf die verschiedenen Pfade, über die eine Exposition mit ionisierender Strahlung erfolgen kann, und der Anwendungsbereich, in den eine Maßnahme fällt, berücksichtigt werden.

2.3 ABSTIMMUNG MIT ZUSTÄNDIGEN BEHÖRDEN

Der erstellte Entwurf soll den durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) benannten Vertretern von Bundesressorts und von Fachbehörden der Länder sowie der Strahlenschutzkommission zur Verfügung gestellt werden. Diese Empfänger sind die Zielgruppe des Maßnahmenkatalogs und sollen die Möglichkeit haben eigene Vorstellungen, Wünsche und Kommentare zu äußern, die als Rückfluss in den Entwurf eingearbeitet werden sollen.

2.4 VORBEREITUNG DER MAßNAHMEN FÜR DAS RADIOLOGISCHE LAGEBILD UND FÜR EINE WEBBASIERTE OBERFLÄCHE

Zur Vorbereitung der Verwendung der Inhalte zu den Maßnahmen im radiologischen Lagebild oder für eine webbasierte Oberfläche sollen für die Maßnahme kurze und prägnante Textbausteine erstellt werden, die aus dem Entwurf herauskopiert und zur weiteren Verwendung genutzt werden können.

Innerhalb des Entwurfs sollen Verlinkungen vorhanden sein, die eine schnelle Orientierung bieten und die in eine webbasierte Oberfläche übertragbar sind.

3. METHODIK

Die in diesem Vorhaben angewendete Methodik sieht im Wesentlichen wissenschaftliche Herangehensweisen vor. Dabei wird für die Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik eine Literaturrecherche durchgeführt. Der systematische Aufbau und Inhalt des angestrebten Entwurfs werden durch Abstimmung zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber erstellt und iterativ an die Vorstellungen des Auftraggebers angepasst. Dieser Anpassungsprozess wird auf die Zielgruppe, jene Vertreter von Behörden und Gremien, die auf Grundlage der Angaben des Entwurfs Entscheidungen treffen oder Bewertungen vornehmen, erweitert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Der Maßnahmenkatalog der Strahlenschutzkommission ist im Wesentlichen auf dem Stand von 2008. Als Teil der Literaturrecherche wurden diverse Quellen zur Prüfung des Standes von Wissenschaft und Technik gesichtet, die nach diesem Datum entstanden sind. Dabei handelte es sich um aktuelle rechtliche Vorgaben, wie das Strahlenschutzgesetz und seine Verordnungen, der Diskussionsentwurf des allgemeinen Notfallplans des Bundes und je nach Anwendungsbereich auch Passagen von Rechtstexten, etwa des Lebensmittel- und Futtermittelrechts für Maßnahmen aus dem Bereich Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion, oder internationale Abkommen, die beispielsweise im Bereich der Abfallbeseitigung eine Rolle spielen. Ebenfalls wurden Erfahrungsberichte und wissenschaftliche Publikationen zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen in Fukushima, etwa Berichte der japanischen Aufsichtsbehörde im Bereich Strahlenschutz (JAEA) oder der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) herangezogen. Aktuelle Maßnahmensammlungen anderer Staaten wurden ebenfalls gesichtet und berücksichtigt. Hierzu zählen beispielsweise die Maßnahmenblätter aus Frankreich, die Angaben aus dem auf europäischer Ebene bearbeiteten EURANOS-Projekt, bei dem ebenfalls Maßnahmenhandbücher erstellt wurden, oder die britischen Maßnahmenhandbücher. Auch Empfehlungen der Strahlenschutzkommission wurden herangezogen. Die Ergebnisse der Literaturrecherche inklusive einer Angabe von weiteren Maßnahmen, die in einem überarbeiteten Maßnahmenkatalog aufzunehmen sind, wurden in einem Bericht zusammengestellt. Dieser Bericht wurde der Strahlenschutzkommission und dem Auftraggeber als Entwurf zur Verfügung gestellt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse wurde der Strahlenschutzkommission und dem Auftraggeber im Jahr 2019 in Form eines Vortrages präsentiert.

4.2 ERSTELLUNG EINES ENTWURFS EINES MAßNAHMENKATALOGS

Vertreter des Auftraggebers, interessierte Vertreter von Zielgruppen des Maßnahmenkatalogs und Vertreter des Auftragnehmers trafen sich zu Projektbeginn zu einem Gespräch, in dem die Konzepte des Auftragnehmers zur Erstellung des Entwurfs und als Teil des iterativen Abstimmungsprozesses erste Wünsche und Vorstellungen der Zielgruppen zur Anpassung der Konzepte erörtert wurden. Der Auftragnehmer erstellte erste Textentwürfe und erweiterte Vorschläge für die strukturelle Konzeption des angestrebten Entwurfs, die mit dem Auftraggeber elektronisch ausgetauscht und nach Rückmeldung angepasst wurden. Die Fortschritte wurden dem Auftraggeber und der Strahlenschutzkommission in Form einer Präsentation vorgestellt.

4.3 ABSTIMMUNG MIT ZUSTÄNDIGEN BEHÖRDEN

Im Jahr 2019 fanden keine nennenswerten Arbeiten zu diesem Teilziel statt. Die Arbeiten wurden in das Jahr 2020 verschoben.

4.4 VORBEREITUNG DER MAßNAHMEN FÜR DAS RADIOLOGISCHE LAGEBILD UND FÜR EINE WEBBASIERTE OBERFLÄCHE

Textentwürfe für entsprechende Maßnahmen wurden erstellt und als ein Punkt in das strukturelle Konzept des Entwurfs integriert.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Es wurde der „Bericht zum Stand von Wissenschaft und Technik der notfallschutzrelevanten Maßnahmen“ erstellt, der auf Basis aktueller Literatur Angaben zur Anpassung und zum Erweiterungspotenzial des Maßnahmenkatalogs macht. Ein besonders hervorzuhebendes Ergebnis des Prüfungsprozesses ist das Erweiterungspotenzial um mögliche Maßnahmen, die in der aktuellen Version des Maßnahmenkatalogs nicht, oder nicht detailliert, berücksichtigt wurden. So finden sich gerade im Bereich der Trinkwassergewinnung und -versorgung bislang keine Maßnahmen im Maßnahmenkatalog. Der Bereich der Entsorgung bezieht sich bislang im Wesentlichen nur auf Entsorgungskonzepte im landwirtschaftlichen Bereich und sollte auf andere Abfallarten erweitert werden. Damit einher geht auch die Anpassung von Modellen in diesem Bereich. Hier wurden in der Vergangenheit im Zusammenhang mit dem Rückbau von Kernkraftwerken und der Freigabe von Abfällen aus diesem Bereich Modellannahmen geprüft und aktualisiert. Das entsprechende Vorgehen könnte auf kontaminierte Abfälle übertragen werden. Einige Maßnahmen sind bislang in anderen Dokumenten der Strahlenschutzkommission aufgeführt worden und könnten bei der Überarbeitung des Maßnahmenkataloges in diesen integriert werden. Hierzu zählen Maßnahmen im Bereich der Abwehr akuter Gefahren, personenbezogene Maßnahmen und Maßnahmen zum Schutz von Einsatzkräften. Die Anzahl der Maßnahmen könnte damit von ca. 150 auf 250 erhöht werden.

5.2 ERSTELLUNG EINES ENTWURFS EINES MAßNAHMENKATALOGS

Es wurde ein Entwurf erstellt, der zweigeteilt ist. Dieser Entwurf sieht im ersten Teil einheitlich gestaltete Maßnahmenblätter vor. Jedes Maßnahmenblatt enthält Angaben zur Einteilung in die Referenzszenarien und die Notfallphasen des allgemeinen Notfallplans des Bundes. Es werden Angaben zu den Expositionspfaden, auf die sich eine Maßnahme bezieht, zu radiologischen und nicht-radiologischen Kriterien sowie zu diversen radiologischen und nicht-radiologischen Aspekten eingeplant. Für die Zielsetzung des vierten Einzelziels „Vorbereitung der Maßnahmen für das radiologische Lagebild und für eine webbasierte Oberfläche“ ist ein Abschnitt für Textbausteine angedacht. Um die Abhängigkeiten in der Wirkung einer Maßnahme etwa in Bezug auf Personengruppen, Notfallphasen oder Notfallkategorien zu berücksichtigen, wird ein Abschnitt zur Abstufung von Maßnahmen vorgesehen. Auch können Vorplanungen und Vorgehensweisen beschrieben und eine Wechselwirkung zwischen Maßnahmen berücksichtigt werden. Ein Abschnitt „mögliche Probleme und Handlungsoptionen“ zielt auf eine Auflistung von vorhersehbaren Schwierigkeiten bei der Umsetzung der Maßnahme und damit verknüpfte Lösungsansätze ab. Es wird ein Abschnitt zum Verweis auf andere ausführliche Dokumentationen bezüglich einer Maßnahme vorgesehen. Jede der ca. 250 Maßnahmen erhielt ein eigenes Maßnahmenblatt. Um die Maßnahmen sinnvoll zusammenzustellen, wurden sie nach Anwendungsbereichen sortiert. Damit wurden 14 Abschnitte erstellt, die beispielsweise die Bereiche Landwirtschaft, Trinkwasser, Katastrophenschutz oder Verkehr betreffen. Die Abschnitte wurden farblich gekennzeichnet, um in der gedruckten Version des Entwurfs eine leichtere Orientierung zu bieten. Der zweite Teil des Entwurfs sieht ergänzende Informationen vor, die beispielsweise Angaben zu Modellen zur Berechnung von Dosis- oder Kontaminationswerten oder Tabellen mit Zusammenstellungen von bestimmten isotopenbezogenen Größen zur Berechnung enthalten.

5.3 VORBEREITUNG DER MAßNAHMEN FÜR DAS RADIOLOGISCHE LAGEBILD UND FÜR EINE WEBBASIERTE OBERFLÄCHE

Jedes Maßnahmenblatt sieht einen Abschnitt für Textbausteine vor. Diese wurden für einzelne Maßnahmen bereits ausformuliert und in den Entwurf integriert.

Der Entwurf wurde in einem Textverarbeitungsprogramm erstellt, in dem durch Setzen von entsprechenden Links ein schnelles Springen zwischen einzelnen Textpassagen möglich ist. Diese Verlinkungen zwischen Textpassagen kann auf webbasierte Oberflächen übertragen werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Der „Bericht zum Stand von Wissenschaft und Technik der notfallschutzrelevanten Maßnahmen“ wird zum Projektende noch um einzelne Punkte aus dem Iterationsprozess zur Erstellung des Entwurfs ergänzt, qualitätsgesichert und als Zugabe für den Abschlussbericht gedruckt.

Der im Rahmen des Vorhabens erstellte Entwurf wird mit den Inhalten des bisherigen Maßnahmenkatalogs gefüllt, sofern keine Fehler oder Ergänzungen vorhanden sind. Als Ergebnis wird ein Dokument erstellt, bei dem erkennbar ist, wo Angaben noch zu ergänzen sind und das zukünftig in weiteren Vorhaben vervollständigt werden kann.

Der Entwurf wird vor seiner endgültigen Fertigstellung den Vertretern der Zielgruppe mittels einer Präsentation vorgestellt. Zudem wird er zusammen mit einem erarbeiteten Fragebogen an die Vertreter der Zielgruppe versendet und diese um Rückmeldung gebeten. Die Ergebnisse der Rückmeldungen werden ausgewertet und angemessen in den Entwurf eingearbeitet.

Thema			
Entwicklung geeigneter Schulungskonzepte für Einsatzszenarien im Radiologischen Lagezentrum zur Optimierung der psychischen und fachlichen Verfasstheit und rollenbezogenen Kompetenzentwicklung			
Subject			
Design of specific training concepts for competence development in the context of operational scenarios in the Federal Radiological Situation Centre			
Kennzeichen 3618S62572	**Beginn** 01.10.2018	**Ende** 31.07.2020	**Fördermittel** EUR 209.058,-
Forschungs- / Auftragnehmer Team HF - Human Factors Forschung Beratung Training Hofinger, Künzer / Mähler PartG Ludwigsburg			
Projektleitung Dr. G. Hofinger	**Fachbetreuung BfS** A. Berkmann / RN 3	**verantwortlich für den Text** Dr. C. Becker	

1. ZIELSETZUNG

Mit Schwerpunkt auf Human Factors soll ein Trainingskonzept entwickelt werden, durch welches die nicht-technischen fachlichen Kompetenzen des am Radiologischen Lagezentrum (RLZ) beteiligten Personals weiterentwickelt werden können. Besonders relevant hierbei ist die rollenbezogene Aus- und Weiterbildung bezüglich des Handelns in Krisenlagen in einer Besonderen Aufbauorganisation (BAO) und der Stabsarbeit. Einbezogen werden u. a. individuelle und teambezogene Faktoren sowie organisationale Einflussfaktoren wie Sicherheits- und Fehlerkultur. Trainingskonzepte werden auf Basis einer empirischen Anforderungsanalyse des RLZ sowie Literaturanalyse bezüglich der für die Stabsarbeit benötigten Kompetenzen entwickelt. Die Trainingskonzepte werden ergänzt durch Evaluationskonzepte.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Entwicklung eines entsprechenden Trainingskonzepts erfolgt in drei Arbeitspaketen, die miteinander verzahnt sind.

- **Soll-Ist-Analyse der RLZ-BAO**
  Der Ist-Zustand der RLZ-Aufbauorganisation (RLZ-BAO) soll anhand von Übungsbeobachtungen und Befragungen ermittelt werden.
- **Internationaler Entwicklungsstand und Good Practice-Beispiele**
  Durch eine umfassende Literaturrecherche sowie die Erhebung von Good-Practice-Beispielen vier exemplarischer Lagezentren inklusive Expertenbefragung wird der Zustand bestimmt, auf den die Entwicklung des RLZ-BAO hinstreben sollte.
- **Entwicklung didaktische gestaltungsstrategie und Evaluationskonzept**
  Anhand der zwei ersten Arbeitspakete und weiterer Expertengespräche soll eine didaktische Gestaltungsstrategie entwickelt werden, die in einem RLZ-BAO-spezifischen Trainings- und Evaluationskonzept mündet und einen nachhaltigen Lernerfolg der Teilnehmenden ermöglicht.

3. METHODIK

Die zur Bearbeitung der gestellten Ziele eingesetzten Methoden sind im Wesentlichen Beobachtung, Befragung und Literaturanalyse.

3.1 BEOBACHTUNGEN

Die Beobachtung während der zwei Übungen CORE 2019 im Februar 2019 und GNU im November 2019 erfolgte durch entsprechend geschulte Mitarbeitende an vier bzw. drei Standorten der RLZ-BAO anhand teilstandardisierter Beobachtungsleitfäden. Zur Auswertung wurden weitere Quellen (Chat-Verlauf, Einsatztagebuch, ELAN-Einträge, Struktur- und Rollenbeschreibungen des BfS) mit verwendet.

3.2 BEFRAGUNGEN

Für die Befragungen wurde zum einen ein modularer Fragebogen mit insgesamt 32 Items erstellt, der durch die Behörde, den Datenschutzbeauftragten sowie den Personalrat überprüft wurde. Ausfüllen und Rücksendung erfolgten anonym. Die Fragebögen wurden qualitativ ausgewertet. Die leitfadengestützten Interviews erfolgten in personae oder per Telefon durch geschulte Mitarbeitende von Team HF. Die durch die Interviewten selbst auf Wunsch überprüften Interview-Transkripte wurden anonymisiert qualitativ ausgewertet. Die Interviews umfassten neben organisationsinternen auch Gespräche mit Experten weiterer Behörden (GMLZ, GRS, BMU).

Die Befragung von Mitarbeitenden der vorzustellenden Lagezentren wurden ebenfalls leitfadengestützt während der Begehung bzw. Besichtigung der Lagezentren durchgeführt.

3.3 LITERATURANALYSE

Es wurde deutsch- und englischsprachige Literatur zu Handeln, Rahmenbedingungen und Human Factors-orienierten Kompetenzen und Trainingsformen für Krisenstabsarbeit recherchiert und zusammengefasst. Wo der Forschungsstand keine Literatur anbot, wurden wichtige Punkte aus den in Forschungsprojekten und der Beratungstätigkeit der Autor*innen erworbene Erfahrungsbestände ergänzt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 SOLL-IST-ANALYSE DER RLZ-BAO

Basierend auf den zwei Übungsbeobachtungen im Februar und November 2019 sowie auf den Befragungen der Mitarbeitenden der RLZ-BAO mittels spezifisch entwickelter Fragebögen und leitfadengestützter Interviews wurde der Ist-Zustand der RLZ-BAO ermittelt. Dabei wurden die Ergebnisse jeweils in Berichtsform und im Rahmen eines Workshops zur Verfügung gestellt bzw. vorgestellt.

4.2 INTERNATIONALER ENTWICKLUNGSSTAND UND GOOD PRACTICE

Auf der Grundlage wissenschaftlicher Recherchen wurde der Status Quo des aktuellen und relevanten Wissenstands zu Krisenstäben und Lagezentren im deutschen und internationalen Kontext ermittelt. Es wurden vor allem die Anforderungen komplexer Krisenlagen, Prozesse und Rollen der Stabsarbeit, besondere psychologische Anforderungen an Stabsmitglieder, Organisationsprozesse, Gestaltung und Ausstattung von Stabsräumen/Lagezentren, Kompetenzfelder und Trainingskonzepte untersucht. Zusammen mit den „Good Practice“-Beispielen von Lagezentren, die durch Begehung und Expertengespräche erhoben wurden, wurde ein Soll-Status identifiziert und in einer Bewertungsmatrix qualifizierte Merkmale zur Bewertung bestehender Strukturen und Prozesse der RLZ-BAO erarbeitet. Auch diese Ergebnisse wurden jeweils in einem Bericht dargestellt.

4.3 ENTWICKLUNG DIDAKTISCHE GESTALTUNGSSTRATEGIE UND EVALUATIONSKONZEPT

Auf Grundlage der Soll-Ist-Analyse wurden im Berichtszeitraum rollenclusterspezifische Anforderungen an und Kompetenzprofile von Mitarbeitenden innerhalb der RLZ-BAO abgeleitet und mit den zwei Wissens-/Fertigkeiten-/Kompetenzausprägungen „Basis“ und „Experte“ verknüpft.

5. ERGEBNISSE

Mit Bezug auf die inhaltlichen Themenbereiche

- Organisationale Einflussfaktoren auf sicheres Handeln
- Rollen RLZ-BAO
- Interaktion Mensch-Technik
- Prozesse der Stabsarbeit
- Führung
- Informationssteuerung und Dokumentation
- Teams

- Virtuelle Zusammenarbeit
- Individuelle Kompetenzen/Notfallkompetenzen
- Aus- und Weiterbildung

wurden in der Soll-Ist-Analyse Bedarfe der Weiterentwicklung von rollen- und lagebezogenen Kompetenzen von Mitarbeitenden der RLZ-BAO aufgezeigt sowie Hinweise zur Gestaltung der Interaktion Mensch-Technik-Organisation gegeben. Es wurden in Bezug auf Aufgabenfelder und charakteristische Tätigkeiten innerhalb der RLZ-BAO fünf Rollencluster identifiziert, deren Anforderungs- bzw. Kompetenzprofile auf zwei Ausprägungsstufen hin modelliert wurden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die rollenclusterspezifischen Anforderungs- bzw. Kompetenzprofile werden 2020 in Verbindung mit verschiedenen Wissensarten und den Ausprägungsstufen als Kompetenzziele konkretisiert und mit didaktischen Umsetzungsvorschlägen hinterlegt. Diese Konkretisierung bildet die Grundlage für die auf das RLZ-BAO eigens angepasste didaktische Gestaltungsstrategie, die nachhaltiges und erfolgreiches Lernen ermöglicht. Diese wiederum mündet in ein spezifisches Trainingskonzept für Mitarbeitende in der RLZ-BAO. Ergänzt wird das Trainingskonzept schließlich um ein Evaluationskonzept, welches die Nachhaltigkeit der entsprechenden Maßnahmen sicherstellt. Die Ergebnisse werden in einem Workshop vorgestellt und diskutiert.

Thema			
Ermittlung der Informations- und Schutzbedürfnisse von Einsatzkräften im Notfallschutz; Ableitung von Empfehlungen zur Verbesserung der Ausbildung, Information und Kommunikation			
Subject			
Identification of information and safety needs among emergency responders; Derivation of recommendations to improve education, information and communication			
Kennzeichen 3618S62573	**Beginn** 01.11.2018	**Ende** 30.04.2020	**Fördermittel** EUR 166.124,-
Forschungs- / Auftragnehmer Stiftung Risiko-Dialog, St. Gallen / Schweiz			
Projektleitung M. Holenstein	**Fachbetreuung BfS** C. Pölzl-Viol / St-RK	**verantwortlich für den Text** M. Holstein	

1. ZIELSETZUNG

Das vorliegende Projekt befasst sich mit den Informations- und Schutzbedürfnissen von Einsatzkräften im Notfallschutz. Der Fokus liegt dabei auf Einsatzkräften, die in radiologischen Notfällen eingesetzt werden. Das Projekt verfolgt das Ziel, Empfehlungen für Schulungs-, Informations- und Kommunikationskonzepte, Übungen und Kommunikationsplattformen zu erarbeiten und dabei die unterschiedlichen Voraussetzungen der einzelnen Einsatzkräfte-Gruppen und damit verbundene Informations- und Schutzbedürfnisse zu berücksichtigen. Die Empfehlungen erfolgen in erster Linie auf einer konzeptionellen Ebene. Das Projektteam strebt im Rahmen der Möglichkeiten an, bereits möglichst konkrete und gruppenspezifische Maßnahmen zu formulieren, deren Umsetzung losgelöst vom vorliegenden Projekt zu vertiefen ist.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt ist aufgeteilt in vier Arbeitspakete (AP). Ziel von AP 1 war es, den aktuellen, relevanten Stand von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens aufzuarbeiten und in Form eines Berichts dem Auftraggeber zur Verfügung zu stellen.

Ziel von AP 2 war es, die Informations- und Schutzbedürfnisse von Einsatzkräften bei einem radiologischen Notfall zu ermitteln. Das AP 2 knüpfte dabei an die Ergebnisse von AP 1 an, insbesondere die Erkenntnisse zu den psychosozialen Belastungen im Rahmen von radiologischen Einsatzlagen. In die Erhebung wurden die relevanten Einsatzkräfte-Organisationen einbezogen und die unterschiedlichen Perspektiven auf einen möglichen Einsatz in einem radiologischen Kontext berücksichtigt, um eine möglichst umfassende Identifikation der Bedürfnisse zu erreichen.

Im Rahmen von AP 3 wird ein Workshop durchgeführt (2 Tage, Mittag bis Mittag). Ziel des Workshops ist es, die Erkenntnisse aus den vorangehenden AP mit unterschiedlichen Expert*innen zu reflektieren, weitere Erfahrungen seitens der Teilnehmenden zu integrieren sowie darauf aufbauen konkrete Handlungsempfehlungen zu formulieren.

3. METHODIK

Für die Literaturanalyse in AP 1 wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Neben wissenschaftlicher Literatur wurden auch Positionspapiere und Leitfäden im Bereich der grauen Literatur analysiert. Neben der Desk- und Onlinerecherche basiert das Projektteam seine Arbeit in AP 1 auch auf dem Fachwissen und den Erfahrungen nationaler und internationaler Praxis-Experten. Dies sind Personen, die in ihrem beruflichen Kontext sehr praxisnah am Thema sind, wie z. B. die Leiter*innen unterschiedlicher Einsatzkräfte, welche für radiologische Ereignisse vorgesehen sind. Das Wissen dieser Personen wurde im Rahmen von selektiven Experteninterviews in die Recherche integriert.

In AP 2 wurde für die Ermittlung der Informations- und Schutzbedürfnisse von Einsatzkräften bei einer radiologischen Einsatzlage ein qualitatives methodisches Vorgehen mit explorativem Ansatz gewählt. Die Informa-

tions- und Schutzbedürfnisse der Einsatzkräfte wurden in qualitativen, leitfadengestützten, problemzentrierten Interviews erhoben.

In AP 3 werden mit einem zweitätigen Workshop die erfassten Bedürfnisse weiter vertieft und mögliche Massnahmen entwickelt. AP 4 wird alle Ergebnisse in einem Schlussbericht zusammenfassen.

4. DURCHFÜHRUNG

Für die Literaturrecherche (AP 1) wurde in einschlägigen, interdisziplinären Literaturdatenbanken (u. a. Google Scholar) eine Schlagwortsuche durchgeführt, die unter anderem auf den Schlagworten „PSNV“, „nuclear crisis“ und „emergency workers“ (sowie alternativen englischen Begriffen wie z. B. „emergency responders“) und den deutschen Äquivalenten basierte. Die so identifizierte Literatur wurde gesichtet und nach thematischer Relevanz selektiert. Etwa 30 Quellen flossen in die Erarbeitung des Berichts ein. Die Experteninterviews in AP 1 wurden anhand eines Gesprächsleitfadens geführt und stichwortartig festgehalten. Es konnten 5 Gespräche mit Experten aus dem radiologischen Notfallschutz durchgeführt werden. Die zentralen Aussagen aus den Gesprächen wurden in die Berichterstattung zu AP 1 integriert.

Für die leitfadengestützten Interviews in AP 2 vermittelte das BfS eigene Messkräfte sowie Vertreterinnen und Vertreter der Polizei, Feuerwehr, THW, verschiedener Hilfsorganisationen, Kliniken und Krankenhäuser sowie der Bundeswehr. Interviewanfragen wurden vor allem an Standorte der Organisationen gesendet, die sich in Nähe zu einem AKW[1)] befinden, um eine möglichst große Nähe zu dem Befragungsthema sicherzustellen und die Empathielücke zu reduzieren. Es konnten insgesamt 18 Interviews mit insgesamt 44 Einsatzkräften durchgeführt werden. Darunter fallen vier Gruppeninterviews mit den Messkräften des BfS (22 Befragte von allen Standorten), der Berliner Polizei (drei Befragte), der Bundespolizei (zwei Befragte) sowie dem BKA (zwei Befragte). Der Befragte eines Einzelinterviews stand in einer Doppelfunktion, da er sowohl beim THW als auch bei der Feuerwehr arbeitete. AP 2 wurde im Dezember 2019 abgeschlossen.

Im Dezember 2019 wurde, aufbauend auf den Erkenntnissen der vorangehenden AP, mit der Konzeption des Workshops (AP 3) begonnen.

5. ERGEBNISSE

Die erarbeiteten Resultate von AP 1 wurden in einem zusammenfassenden Bericht dem Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Daraus geht hervor, dass im spezifischen Szenario einer radiologischen Großkatastrophe zu beachten ist, dass sich die präventiven Maßnahmen stark zwischen einzelnen Einsatzkräften unterscheiden können. So macht es beispielsweise nur bedingt Sinn, medizinisches Pflegepersonal in der Ausbildung ausführlich über die Wirkung radioaktiver Strahlen und Schutzmaßnahmen aufzuklären, hingegen ist es bei Spezialisten wie bei einer Analytical Task Force ein grundlegender Bestandteil der Ausbildung. Auch muss die Kommunikation und Information an das Vorwissen, aber auch an die «Sprache» der Einsatzkräfte angepasst werden. Wie in den Experteninterviews hingewiesen wurde, unterscheidet sich die Sprache in der Wissenschaft stark von der Sprache in der Praxis, was in der zielgruppenspezifischen Kommunikation berücksichtigt werden muss. In den Experteninterviews wurde die Empathielücke als mögliches methodisches Problem für AP 2 angesprochen.

Als Ergebnis von AP 2 entstand ein Zwischenbericht, der einen Überblick über das Vorgehen bzw. die Methode der Erhebung und Analyse vermittelt sowie eine Typologie der unterschiedlichen Einsatzkräfte und eine Übersicht über die jeweiligen Informations- und Schutzbedürfnisse enthält. Wichtige Befunde daraus sind:

- Informationsbedürfnisse zeichnen sich durch hohe Anwendungsnähe auf. Gewünscht werden immer wieder konkrete, nutzbare, verständliche Informationen, die im Kern Handlungsanweisungen oder -empfehlungen implizieren. Immer wieder genannt wird die Frage, wo der Gefahrenbereich verläuft, wie lange und unter der Voraussetzung welcher Schutzmaßnahmen der Gefahrenbereich betreten werden kann. Messwerte werden nur selten gewünscht, gelten häufig als schwierig verständlich und interpretierbar. Gewünscht werden vielmehr Interpretationen und Implikationen der Messwerte.
- Neben Routine, die insbesondere durch regelmäßige Übungen etabliert werden kann, ist Vertrauen der zentrale Mechanismus, Einsatzbereitschaft und -fähigkeit unter den Bedingungen von Unsicherheit und persönlicher Gefährdung zu gewährleisten. Dabei spielt das Vertrauen horizontal zu Kolleginnen und Kollegen sowie Kooperationspartnern, vertikal zu Vorgesetzten bzw. zur Einsatzleitung sowie auch zur Infra-

[1)] Atomkraftwerk

struktur und Ausstattung eine entscheidende Rolle. Als besonders vertrauensfördernd ist der Aufbau persönlicher Kontakte bzw. persönlicher Erfahrungen durch gemeinsame Übungen einzustufen.

- Der Umgang mit der Zivilbevölkerung ist bei den Einsatzkräften weitgehend eine Unbekannte und bereitet durchaus Unsicherheiten. Die Integration dieses Einsatzaspekts in Schulungen und Übungen kann dabei helfen, den Einsatzkräften diese Unsicherheiten im Einsatz zu nehmen. Dazu kann eine psychosoziale Schulung zählen, die den Umgang mit verunsicherten Personen behandelt, aber auch die Bereitstellung von Empfehlungen zur Informationsweitergabe an die Zivilbevölkerung im persönlichen Austausch. Dadurch kann insbesondere auch das Verständnis der Einsatzkräfte als Multiplikatoren gestärkt werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Durchführung des Workshops (AP 3, 2 Tage, Mittag bis Mittag) ist im Februar 2020 geplant. Ziel des Workshops ist es, die Erkenntnisse aus AP 1 und AP 2 mit unterschiedlichen Experten zu reflektieren, weitere Erfahrungen seitens der Teilnehmenden zu integrieren sowie darauf aufbauend konkrete Handlungsempfehlungen zu formulieren. Abgeschlossen wird AP 3 im März 2020.

Das AP 4 stellt den Abschluss des Projektes dar. Darin werden die erarbeiteten Empfehlungen mit dem Auftraggeber reflektiert und etwaige Anpassungen vorgenommen. Die abschließend formulierten Empfehlungen werden zusammen mit den Erkenntnissen und dem Vorgehen aus AP 1 – AP 3 in einem Schlussbericht zusammengefasst. Der Projektabschluss ist für Ende Mai 2020 geplant.

Thema			
Erarbeitung eines Konzeptes und dessen Umsetzung für die Vernetzung zwischen dem Notfallzentrum der GRS und dem BfS-Lagezentrum Neuherberg			
Subject			
Development of a concept and its implementation for the networking between the Emergency centre of GRS and the BfS situation centre in Neuherberg			
Kennzeichen 3618S62574	**Beginn** 17.09.2018	**Ende** 30.06.2020	**Fördermittel** EUR 179.482,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung Dr. T. Stahl	**Fachbetreuung BfS** N. Zander / RN 2	**verantwortlich für den Text** Dr. T. Stahl	

1. ZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben soll dazu dienen, die fachliche Leistungsfähigkeit und die organisatorische Effizienz des Radiologischen Lagezentrums des Bundes (RLZ) für die vielfältigen Aufgaben bei der Bewältigung von überregionalen oder regionalen Notfällen unter Berücksichtigung bereits etablierter Strukturen zu stärken.

Das RLZ ist nach § 106 StrlSchG seit Oktober 2017 bei einem überregionalen oder regionalen Notfall die verantwortliche Stelle zur Koordinierung von Schutzmaßnahmen und von Messungen, zur Information der Bevölkerung und zur Bewertung der Lage. Es erstellt hierfür u. a. das radiologische Lagebild, ein Bericht mit relevanten Informationen zur radiologischen Lage, welches allen festgelegten obersten Bundesbehörden und den Ländern bereitgestellt und übermittelt wird. Das RLZ setzt sich aus der Kopfstelle des BMU in Bonn, dem BfS-Lagezentrum in Neuherberg und dem GRS-Notfallzentrum in Köln zusammen, wobei das BfS noch über weitere Standorte (z. B. Freiburg, Berlin) verfügt, die im Einsatzfall ebenfalls eingebunden werden können. Um die vielfältigen Aufgaben zu bewältigen, müssen die internen Schnittstellen des RLZ und die Informationsflüsse zwischen den Standorten klar definiert, zum Teil aufgebaut und getestet werden. Dies beinhaltet die technischen Rahmenvoraussetzungen für die interne Vernetzung des RLZ, die im Rahmen dieses Vorhabens unter Beachtung bereits bestehender Strukturen entwickelt und getestet werden sollen.

Neben den technischen Aspekten liegt ein weiterer Schwerpunkt des Vorhabens auf der sicheren operativen Vernetzung zwischen BfS und GRS. Das BfS bewertet die radiologische Gefährdung für Mensch und Umwelt und legt diese Bewertung der RLZ-Kopfstelle beim BMU vor. Um die Schnittstelle zwischen der GRS und dem BfS sicherzustellen, soll im vorliegenden Vorhaben neben den infrastrukturellen Analysen eine inhaltlich abgestimmte, gemeinsame Lageberichtsstruktur für das radiologische Lagebild erarbeitet werden.

Die Erkenntnisse innerhalb des Vorhabens im Hinblick auf Methoden, Abläufe und technische Einrichtungen zur Vernetzung sollen durch Schulungen den Mitarbeitern der Notfallorganisation von GRS und BfS vermittelt und deren Umsetzung durch die mit dem Auftraggeber abgestimmten Notfallübungen überprüft werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Erarbeitung eines Konzepts für die Vernetzung zwischen dem GRS-Notfallzentrum und dem BfS-Lagezentrum Neuherberg geht mit den nachstehenden, miteinander verknüpften Einzelzielen einher:

- **Gestaltung eines Lageberichtskapitels**
  Das BfS verfügt über eine mit der RLZ-Kopfstelle abgestimmte Lageberichtsvorlage. Das Kapitel 1 dieses Lageberichts, das einen Überblick über das Ereignis, inklusive prognostizierte bzw. bereits aktuelle Quellterme, enthält und somit als Basis für die nachfolgenden RODOS-Ausbreitungsrechnungen dient, soll kompatibel zu den diesbezüglichen Inhalten des durch das GRS-Lagezentrum in einem Einsatzfall v. a. für den BMU-Stab A zu erarbeitenden Bericht gestaltet werden. Dabei soll berücksichtigt werden, wie sich die inhaltliche Gestaltung dieses Kapitels in Abhängigkeit von den verschiedenen Referenzszenarien des allgemeinen Notfallplans des Bundes verändern könnte.
- **Technische Rahmenbedingungen für die Vernetzung im RLZ**
  Die technischen Rahmenbedingungen für die Vernetzung innerhalb des RLZ inklusive der Kommunika-

tion im Ereignisfall soll unter Beachtung der bereits bestehenden IT-Strukturen entwickelt und gemeinsam mit dem Auftraggeber getestet sowie bei RLZ-Übungen angewendet werden.

- **Dokumentation und Vermittlung von Ergebnissen**
  Die erarbeiteten und in Tests verifizierten Lösungsvorschläge sollen als Handbuch-Unterlage dokumentiert und den Mitarbeitern der RLZ-Kopfstelle und des BfS-Lagezentrums in Neuherberg vor Ort präsentiert werden.
- **Notfallübungen**
  Unter Verwendung der im Vorhaben erarbeiteten Ergebnisse sollen mindestens zwei geplante Notfallübungen des RLZ unterstützt werden.

3. METHODIK

Die Methodik zur Erarbeitung eines Konzepts für die o. g. Vernetzung gliedert sich entsprechend den Einzelzielen aus Kapitel 2 wie folgt:

- **Gestaltung eines Lageberichtskapitels**
  In Abhängigkeit von den 10 Referenzszenarien und dem Szenario der unklaren Situation (Szenario 0) des allgemeinen Notfallplans werden die Vorgaben des RLZ für die erforderlichen Informationen zu Quelltermabschätzungen bei einem radiologischen Notfall analysiert und geeignete Vorschläge zur Gestaltung des ersten Kapitels des Lageberichtes des BfS-Lagezentrums Neuherberg erarbeitet.
- **Technische Rahmenbedingungen für die Vernetzung im RLZ**
  Derzeitig bestehen zwischen BMU und GRS sowie zwischen BMU und BfS abgestimmte Schnittstellen mit zugeordneten IT-Strukturen und Kommunikationskanälen. Diese werden unter den aktuellen Voraussetzungen des RLZ analysiert. Für die Vernetzung innerhalb des RLZ werden zusätzlich die möglichen bzw. als notwendig erachteten Schnittstellen zwischen GRS und BfS inklusive der benötigten Kommunikation im Ereignisfall ermittelt, mit der vorhandenen technischen Ausstattung verknüpft und ggf. Defizite in der vorhandenen technischen Ausstattung ermittelt.
- **Dokumentation und Vermittlung von Ergebnissen**
  Basierend auf den Ergebnissen aus AP 1 und AP 2 werden Handbuchunterlagen erweitert und überarbeitet, um so die Ergebnisse zu dokumentieren. Diese Dokumentation beinhaltet Schemata zu Prozessabläufen mit Angaben von Schnittstellen sowie die erarbeiteten Vorschläge hinsichtlich der Angaben für den Lagebericht.
- **Notfallübungen**
  Die im Vorhaben erarbeiteten Vorschläge sollen im Rahmen von gemeinsamen RLZ-Notfallübungen verifiziert werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben ist in die folgenden Arbeitspakete (AP) gegliedert:

- Gestaltung eines Lageberichtskapitels (AP 1)
- Technische Rahmenbedingungen für die Vernetzung im RLZ (AP 2)
- Dokumentation und Vermittlung von Ergebnissen (AP 3)
- Notfallübungen (AP 4)
- Projektmanagement und Projektcontrolling (AP 5).

5. ERGEBNISSE

- **Gestaltung eines Lageberichtskapitels (AP 1)**
  Die Referenzszenarien des Entwurfs des allgemeinen Notfallplans des Bundes wurden im Hinblick auf erforderliche Informationen im Rahmen des RLZ analysiert und ein Vorschlag zur Gestaltung des ersten Kapitels des Lageberichtes des BfS-Lagezentrums Neuherberg erarbeitet.
- **Technische Rahmenbedingungen für die Vernetzung im RLZ (AP 2)**
  Die Untersuchung der technischen Rahmenbedingungen für die Vernetzung wurden weitergeführt. Insbesondere wird in diesem Zusammenhang auch der Anschluss des GRS-Notfallzentrums an das Netz des

Bundes geprüft.

- **Dokumentation und Vermittlung von Ergebnissen (AP 3)**
  Im Rahmen der Vorbereitung der im AP 4 genannten Notfallschutzübungen wurden Schulungen des BfS und BMU durchgeführt.
- **Notfallübungen (AP 4)**
  Es wurden zwei Notfallübungen im Jahr 2019 sowohl im Rahmen der Vorbereitung, der Durchführung als auch der Nachbereitung unterstützt. Hierbei handelte es sich um die beiden Notfallübungen CORE 2019 am 26.02.2019 und GNU 2019 am 13.11.2019.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Es ist geplant, die im Vorhaben durchgeführten Arbeiten entsprechend der Arbeitsplanung im Jahr 2020 abzuschließen.

Thema			
Entwicklung ausführlicher Abfallkataster aus radiologischer Sicht für alle im allgemeinen Notfallplan des Bundes beschriebenen Referenzszenarien zur Vorbereitung der Evaluierung des besonderen Notfallplans des Bundes „Abfälle“			
Subject			
Development of detailed radiological waste registers for all reference scenarios described in the general emergency plan of the Federal Government of Germany for the preparation of the evaluation of the special emergency plan			
Kennzeichen 3618S62575	**Beginn** 01.11.2018	**Ende** 31.08.2021	**Fördermittel** EUR 595.246,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung Dr. M. Sogalla	**Fachbetreuung BfS** B. Denstorf / RN 3.6	**verantwortlich für den Text** Dr. M. Sogalla	

1. ZIELSETZUNG

Das Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz, StrlSchG), enthält Anforderungen an die Bewirtschaftung von notfallbedingt kontaminierten Abfällen sowie die Errichtung und den Betrieb von dafür vorzusehenden Anlagen. Die entsprechenden Planungen sind gemäß § 99 StrlSchG in einem besonderen Notfallplan des Bundes darzustellen. Die Realisierung des besonderen Notfallplans „Abfälle“ stellt komplexe fachliche und administrative Anforderungen, deren Bewertungsgrundlagen teilweise noch zu erarbeiten sind.

Als Teil des Notfallmanagementsystems ist auch der besondere Notfallplan „Abfälle“ innerhalb einer fünfjährigen Phase zu evaluieren. Als Basis für die Evaluierung werden entsprechend dem Gesamtziel des Vorhabens Kataster für kontaminierte Abfälle, die infolge des jeweiligen Notfalls im öffentlichen Raum anfallen, erstellt und mit bestehenden Entsorgungsmöglichkeiten verglichen. Auf dieser Basis wird der Entsorgungsbedarf ermittelt und die wissenschaftliche Basis für die Überprüfung der Realisierbarkeit des im Notfallmanagementsystem vorzusehenden Entsorgungskonzepts geschaffen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die jeweils in den Katastern zu erfassenden Abfälle umfassen die folgenden Arten:

- Dekontaminationsabfälle aus der Sanierung kontaminierter Gebiete
- nicht mehr vermarktungsfähige landwirtschaftliche Produkte
- andere infolge ihrer Kontamination nicht mehr gebrauchsfähige Güter
- Haushalts- und Gewerbeabfälle, die bei der Nutzung kontaminierter Gebiete anfallen.

Die Kataster werden als Grundlage für die Überprüfung des im besonderen Notfallplan „Abfälle“ vorgesehenen Entsorgungskonzepts aufbereitet und herangezogen. Das Anforderungsprofil an die zu erstellenden Kataster ergibt sich aus den in den Notfallplänen festzulegenden Optimierungszielen und Abwägungsgrundsätzen für das Abfallmanagement nach nuklearen oder radiologischen Notfällen.

3. METHODIK

Entsprechend der Zielsetzung verfolgt das Verfahren einen raumorientierten Ansatz. Als radiologische Basis für die Erarbeitung der Kataster dienen Simulationen mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS für die Referenzszenarien. Für das Vorhaben werden die benötigten RODOS-Daten durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) bereitgestellt. Zur Ableitung von Objektkontaminationen werden die RODOS-Ergebnisse mit Daten zur Flächennutzung verknüpft, die ihrerseits in Relation zu relevanten Objekten (Dekontaminationsobjekte, Abfälle etc.) gesetzt werden. Auf diese Weise wird ein kohärentes Verfahren zur Ableitung von Objektkontaminationen aus Flächenkontaminationen entwickelt. Als Basisdaten für die Flächennutzung dient der CORINE Land Cover (CLC)-Datensatz der europäischen Union.

Die berechneten Abfallmengen werden radiologisch klassifiziert. Die Klassifikation richtet sich nach den für das Notfallmanagement entsprechend den Vorgaben nach § 95 StrlSchG spezifizierten Kriterien.

Zur Evaluierung der Notfallplanung bezüglich Entsorgungsbedarf und Entsorgungsmöglichkeiten wird eine Soll-Ist-Analyse durchgeführt. Zu diesem Zweck wird ein Vergleichsschema für den aus den Abfallkatastern ablesbaren Entsorgungsbedarf mit verfügbaren Informationen über bestehende Entsorgungsmöglichkeiten entwickelt. Das Vergleichsschema wird auf drei in Abstimmung mit dem Auftraggeber ausgewählte Referenzszenarien angewendet und auf dieser Basis der Bedarf an zusätzlichen Einrichtungen für die Entsorgung spezifiziert.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben ist in die folgenden Arbeitspakete geliedert:

- Recherche zu Erkenntnissen und Erfahrungsrückflüssen sowie Kick-Off-Meeting als Workshop (AP 1)
- Entwicklung von Dekontaminationsstrategien (AP 2)
    - Entwicklung eines Bewertungsschemas für Dekontaminationsmaßnahmen (AP 2.1)
    - Ausarbeitung von Dekontaminationsstrategien (AP 2.2)
- Entwicklung einer Methodik zur Erstellung von Abfallkatastern aus Referenzszenarien (AP 3)
    - Erarbeitung eines Klassifikationsschemas (AP 3.1)
    - Aufstellung empirischer Beziehungen zwischen Flächennutzungsdaten und Abfallaufkommen (AP 3.2)
    - Abschätzung der Abfallkontamination aus RODOS-Ergebnisfeldern (AP 3.3)
- Entwicklung von Abfallkatastern sowie Konzeption von Skalierungsmethoden (AP 4)
    - Aufbereitung der RODOS-Datensätze (AP 4.1)
    - Berechnung der Abfallkataster (AP 4.2)
    - Konzeption von Skalierungsmethoden (AP 4.3)
- Soll-Ist-Analysen (AP 5)
    - Entwicklung des Vergleichsschemas (AP 5.1)
    - Soll-Ist-Vergleich für ausgewählte Referenzszenarien (AP 5.2)
    - Untersuchung der anderen Bundesnotfallpläne auf Rückwirkungen mit dem Entsorgungskonzept (AP 5.3)
- Entwicklung von zwei Planspielen zur Entsorgung notfallbedingt kontaminierter Abfälle (AP 6)
    - Szenarienentwicklung (AP 6.1)
    - Planung und Durchführung der Planspiele (AP 6.2)
    - Auswertung der Planspiele und Schlussfolgerungen (AP 6.3)
- Projektmanagement und Projektcontrolling (AP 7)

5. ERGEBNISSE

5.1 RECHERCHE ZU ERKENNTNISSEN UND ERFAHRUNGSRÜCKFLÜSSEN SOWIE KICK-OFF-MEETING ALS WORKSHOP (AP 1)

Die Erkenntnisse aus bisherigen Planungen auf nationaler und internationaler Ebene sowie die verfügbaren Erfahrungsrückflüsse aus der Bewältigung realer Unfallsituationen wurden in AP 1 für das Vorhaben recherchiert, zusammengestellt und systematisch als aktueller Stand von Wissenschaft und Technik in diesem Bereich aufbereitet.

5.2 ENTWICKLUNG VON DEKONTAMINATIONSSTRATEGIEN (AP 2)

Zunächst wurde eine Systematik zur Bewertung von Dekontaminationsstrategien bezüglich ihrer Eignung für die Vorhabensziele erarbeitet. Dazu wurde ein Schema zur Flächennutzungsdaten-basierten Quantifizierung anfallender Dekontaminationsobjekte erstellt und eine Methodik zur Bewertung geeigneter Dekontaminati-

onsmaßnahmen für diese Objekte ausgearbeitet. Darauf aufbauend wurde ein Verfahren zur Entwicklung von Dekontaminationsstrategien konzipiert.

5.3 ENTWICKLUNG EINER METHODIK ZUR ERSTELLUNG VON ABFALLKATASTERN AUS REFERENZSZENARIEN (AP 3)

Als Basis für die Methodik wurde ein Klassifikationsvorschlag für Abfälle erarbeitet. Zur Aufstellung empirischer Beziehungen zwischen Flächennutzungsdaten und Abfallaufkommen wurde ein multivariates statistisches Verfahren entwickelt und zu einem Verfahren zur Disaggregierung von Abfalldaten von Kreis- auf Gemeindeebene ausgebaut. Außerdem wurde eine Systematik zur Abschätzung der kontaminierten Abfälle, die infolge des Notfalls im öffentlichen Raum anfallen, konzipiert.

5.4 ENTWICKLUNG VON ABFALLKATASTERN SOWIE KONZEPTION VON SKALIERUNGSMETHODEN (AP 4)

Durch das BfS wurde ein RODOS-Testdatensatz übermittelt. Für die Verarbeitung wurde eine Interpolationsroutine auf das im Vorhaben einheitlich genutzte Gitter erstellt. Zur Erstellung der Kataster für Dekontaminationsabfälle wurden auf dieser Basis erste Rechnungen durchgeführt.

5.5 SOLL-IST-ANALYSEN (AP 5)

In diesem Arbeitspaket wurden Vorarbeiten für die vorhabenkonforme Datenhaltung und Dokumentation durchgeführt. Die Entwicklung eines Vergleichsschemas für den aus den Abfallkatastern ablesbaren Entsorgungsbedarf mit verfügbaren Informationen über bestehende Entsorgungsmöglichkeiten wurde begonnen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die geplante Weiterarbeit konzentriert sich auf die Ausarbeitung der Dekontaminationsstrategien, die Spezifizierung von Sekundärabfällen und die Anwendung der erarbeiteten Methoden auf alle Abfallbereiche und Referenzszenarien.

3.7 Themenbereich 07
Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

3.7 Subject area 07
Projects of general importance to radiation protection

Thema Weiterentwicklung des atmosphärischen Ausbreitungsmodells ARTM bezüglich weiterer Anwendungsbereiche, Windfeld- und Grenzschichtmodell, Dokumentation **Subject** *Enhancement of the atmospheric dispersion model ARTM considering additional areas of application, wind field and boundary layer models, and documentation*			
Kennzeichen 3616S72575	**Beginn** 01.12.2016	**Ende** 30.09.2019	**Fördermittel** EUR 318.437,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung Dr. C. Richter	**Fachbetreuung BfS** Dr. M. Pattantyús-Ábrahám / UR 3	**verantwortlich für den Text** Dr. C. Richter, Dr. M. Pattantyús-Ábrahám	

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen von bereits drei Forschungsvorhaben (StSch 4443, 3608S05005 und 3611S50007) wurde das atmosphärische Radionuklid-Transport-Modell ARTM aufbauend auf dem Referenzmodell der technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) für die Ausbreitungsrechnung konventioneller Luftschadstoffe AUSTAL2000 entwickelt, validiert und für die Modellierung um zusätzliche Fragestellungen erweitert.

Im Rahmen dieses Vorhabens soll das Programm an den sich weiterentwickelnden Stand von Wissenschaft und Technik angepasst werden. Insbesondere wurden einige VDI-Richtlinien, die für die Ausbreitungsrechnung relevant sind, aktualisiert und auch die TA Luft wird derzeit überarbeitet. Zudem verwendet ARTM (ebenso wie AUSTAL2000) für die Modellierung des Windfeldes in komplexem Gelände oder bei Gebäudeeinfluss bisher lediglich ein einfaches diagnostisches Windfeldmodell (TALdia). Da der Anwendungsbereich dieses einfachen, diagnostischen Windfeldmodells stark eingeschränkt ist, soll im Rahmen des Vorhabens die Möglichkeit geschaffen werden, alternativ ein prognostisches Windfeldmodell verwenden zu können. Zusätzlich werden zahlreiche kleinere Programmverbesserungen umgesetzt, die Programmdokumentation überarbeitet und die Entwicklungen dem Anwenderkreis in Workshops vorgestellt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben gliedert sich in insgesamt sechs Arbeitspakete. Im Arbeitspaket eins wird der relevante Stand von Wissenschaft und Technik recherchiert. Ein Fokus liegt dabei auf der Thematik Grenzschichtmodell und prognostische Windfeldmodelle.

Im Rahmen des zweiten Arbeitspaketes wird zunächst aus einer Vorauswahl von Programmen dasjenige prognostische Windfeldmodell ausgewählt, das die mit dem Auftraggeber abgestimmten Bewertungskriterien am besten erfüllt. Anschließend wird eine Schnittstelle zu diesem ausgewählten prognostischen Windfeldmodell geschaffen, das dann vom Anwender alternativ zum diagnostischen Windfeldmodell für die Ausbreitungsrechnung mit ARTM angewählt und einfach angesteuert werden kann.

Das dritte Arbeitspaket widmet sich dem Grenzschichtmodell, also den modelltechnischen Festlegungen dazu, wie sich bei ebenem Gelände Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Turbulenz mit der Höhe und in Abhängigkeit zur Bodenbeschaffenheit (Rauigkeit) sowie der Stabilität der thermischen Schichtung der Atmosphäre ändern. Zum einen hat sich hier durch die Aktualisierung der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 8 der Stand von Wissenschaft und Technik geändert, wodurch eine Anpassung des in ARTM verwendeten Grenzschichtmodells nötig wird. Zum anderen entsprechen real gemessene Wind- und Turbulenzprofile selten den idealisierten mittleren Profilen eines Grenzschichtmodells. Daher soll es zusätzlich in ARTM ermöglicht werden, statt Zeitreihen von meteorologischen Messungen in einer einzigen Messhöhe komplett gemessene Vertikalprofile ausgewählter Grenzschichtparameter vorzugeben.

Im vierten Arbeitspaket wird die Nutzung von ARTM auch außerhalb Deutschlands erleichtert. So wird ein Hilfsprogramm entwickelt, mit dem sich die meteorologische Eingabedatei leichter und übersichtlicher anpassen lässt. Zudem wird die Festlegung der Vegetationsperiode flexibilisiert.

Zahlreiche technische Programmverbesserungen und eine Überarbeitung der begleitenden Programmdokumente werden im Arbeitspaket 5 umgesetzt. Unter anderem wird das diagnostische Windfeldmodell TALdia mittels OpenMP[1)] parallelisiert und das undokumentierte ARR[2)]-Format für temporäre, binäre Dateien wird durch das gut dokumentierte Standard-Ausgabeformat von ARTM, das sogenannte DMNA-Format ersetzt. Zudem wird auch die zeitaufgelöste Ausgabe von kompletten 3D-Ergebnisfeldern für kurze Simulationszeiträume (maximal 2 Wochen) ermöglicht.

Schließlich werden dem Anwenderkreis im Rahmen des Arbeitspaketes sechs die Weiterentwicklungen des Programms im Rahmen von Workshops vorgestellt und diskutiert.

3. METHODIK

Die angewendeten Methodiken richten sich nach den Zielen der einzelnen Arbeitspakete. Um den für das Vorhaben relevanten aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu recherchieren, werden Literaturrecherchen betrieben, unter anderem der relevanten VDI-Richtlinien, sowie der direkte Kontakt zu Fachkollegen, z. B. auch durch zahlreiche Projektgespräche (auch als Videokonferenzen) mit dem Auftraggeber, und die Teilnahme an Fachkonferenzen zum Erfahrungsaustausch genutzt.

Das Programm ARTM selbst ist in der Programmiersprache C implementiert. Es wird der Intel C Compiler und die Entwicklungsumgebung Visual Studio 2010 für die Implementierung sämtlicher Weiterentwicklungen verwendet.

Für die Versionskontrolle bei der Entwicklung wird ein SVN-Repository gepflegt. Zur Programmentwicklung gehören jeweils Programmtests sowie die Dokumentation der Änderungen in einer History-Datei sowie im Programmhandbuch.

Hilfsprogramme werden in der Programmiersprache Delphi umgesetzt.

Für die Workshops mit den Anwendern werden Präsentationen vorbereitet und gehalten sowie die Rückmeldungen der Anwender im Anschluss an die Workshops bearbeitet.

4. DURCHFÜHRUNG

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

Im AP 1 wurde weiterhin Literaturrecherche betrieben und die Konferenz HARMO 19[3)] besucht. Die Ergebnisse des Arbeitspaktes wurden im Abschlussbericht zu AP 1 zusammengestellt.

Für die Einbindung eines prognostischen Windfeldmodells MISKAM[4)] im Rahmen des AP 2 wurden die nötigen Pre- und Postprozessingschritte für die Steuerung bzw. Verarbeitung der In- und Outputdaten des prognostischen Windfeldmodells erstellt. Mit der Implementierung der Schnittstelle innerhalb des ARTM-Codes wurde begonnen.

Im Rahmen des AP 3 wurden die Änderungen der VDI Richtline 3783 Blatt 8 als zusätzliche neue Option für das verwendete Grenzschichtmodell implementiert und getestet. Die im Jahr 2017 aktualisierte Version der VDI Richtlinie 3783 Blatt 8 wurde in ARTM als zusätzlich verfügbares Grenzschichtmodell implementiert, sich abzeichnende Änderungen in der TA Luft wurden ebenfalls vorbereitend (optional verwendbar) in das Programm implementiert. Das Datenformat für eine Grenzschichtprofil-Zeitreihe-Datei wurde festgelegt und mit der Implementierung der Schnittstelle in ARTM begonnen.

Im Rahmen des AP 4 wurde das Hilfsprogramm METIMEX.exe entwickelt, dass einen einfachen Datenim- und -export der meteorologischen Randbedingungen in das MS Excel © Format ermöglicht. Zudem wurden in ARTM zwei neue Eingabeparameter eingeführt, durch die der Start und das Ende der Vegetationsperiode vorgegeben werden können. Ein Abschlussbericht zu AP 4 wurde erstellt.

Innerhalb des AP 5 wurden zahlreiche Programmverbesserungen umgesetzt. Dabei sah die ursprüngliche Planung zur Parallelisierung des diagnostischen Windfeldmodells TALdia die Verwendung von OpenMP vor. Eine Analyse dieser Vorgehensweise im Vergleich zu einer Umsetzung über eine äußere (Präprozessing) Hilfsfunktion bei vergleichbarem Nutzen (bis nahezu 6-fach schnellere Berechnung der Windfeldbibliothek)

[1)] Open Multi-Processing
[2)] Atari Cubase Arrangement
[3)] Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes
[4)] Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell

führte dazu, dass abweichend von der ursprünglichen Planung keine programminterne Parallelisierung mittels OpenMP umgesetzt wurde, sondern mittels einer Erweiterung in der Benutzeroberfläche GO-ARTM.exe automatisiert verteiltes Rechnen ermöglicht wird.

Bei der Verbesserung der Fehlerangaben wurde zusätzlich zu Präzisierungen im ARTM-Quellcode das Hilfsprogramm PR_CHECK.exe erstellt, das es erlaubt, vor dem Start einer Ausbreitungsrechnung sämtliche Eingabedateien zu überprüfen.

Für eine automatisierte Durchführung von Ensemblerechnungen wurde das Hilfsprogramm VARM.exe entwickelt. Das Einlesen der Mischungsschichthöhe und deren Verwendung in den Simulationsrechnungen wurde ermöglicht. Die bisherigen Dokumente „ARTM Modellbeschreibung“ und „ARTM Programmbeschreibung“ wurden aktualisiert und in ein einziges Dokument „ARTM Programmhandbuch“ zusammengeführt.

5. ERGEBNISSE

Wie bereits im vorherigen Abschnitt erläutert, wurden die Ergebnisse des AP 1 in einem Abschlussbericht zum Stand von Wissenschaft und Technik zusammengetragen und dokumentiert. Die Ergebnisse des AP 4 wurden ebenfalls in einem eigenständigen Abschlussbericht dokumentiert. Die Hilfsprogramme METIMEX.exe, PR_CHECK.exe und VARM.exe wurden erstellt, getestet und im Programmhandbuch dokumentiert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die begonnene Implementierung der Schnittstellen für die Grenzschichtprofil-Zeitreihe-Datei sowie der Wind- und Turbulenzfelder des prognostischen Windfeldmodells werden fertiggestellt, ebenso wie die Programmverbesserungen im Rahmen des AP 5. Alle Änderungen werden abschließend umfangreich getestet und in den Abschlussberichten zu AP 2, 3 und 5 sowie dem Programmhandbuch dokumentiert.
Eine neue, alle Weiterentwicklungen der Arbeitspakete 2 bis 5 enthaltende und damit den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik repräsentierende Version von ARTM wird erstellt.

Thema Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) bzw. aus dem K967 des DKE **Subject** *Revision of technical radiation protection standards in the range of the Materials Testing Standards Committee (NMP) and from the working group K967 of the German Commission on Electrical Engineering*			
Kennzeichen 3617S72381	**Beginn** 01.11.2017	**Ende** 30.09.2020	**Fördermittel** EUR 255.285,-
Forschungs- / Auftragnehmer DIN Deutsches Institut e.V., Berlin			
Projektleitung V. Seibicke	**Fachbetreuung BfS** U. Häusler / MB 6	**verantwortlich für den Text** M. Treige	

1. ZIELSETZUNG

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

2. EINZELZIELSETZUNG

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

- DIN 25422:2013-06
  Aufbewahrung und Lagerung radioaktiver Stoffe - Anforderungen an Aufbewahrungseinrichtungen und deren Aufstellungsräume zum Strahlen-, Brand- und Diebstahlschutz
- Normen der Reihe DIN 25425
  Radionuklidlaboratorien (4 Teile, 3 Beiblätter)
- Normen der Reihe DIN 54115
  Zerstörungsfreie Prüfung - Strahlenschutzregeln für die technische Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe (6 Teile, 1 Beiblatt)

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

3. METHODIK

Die zu prüfenden Normen werden existierenden Arbeitsausschüssen des DIN-Normenausschusses Materialprüfung (NMP) zugeordnet.

Die Mitarbeiter der Arbeitsausschüsse überprüfen unter der Leitung des DIN-Bearbeiters die Normtexte hinsichtlich des Stands von Wissenschaft und Technik und fassen entsprechende Beschlüsse zur Norm (Überarbeitung, Zurückziehung, Bestätigung).

Im Fall der Überarbeitung werden vom jeweiligen Arbeitsausschuss Manuskripte erstellt, die vom Ausschuss nach ausführlicher Diskussion zur Veröffentlichung als Norm-Entwurf verabschiedet werden.

Die jeweiligen Norm-Entwürfe werden mit einer Einspruchsfrist von 2 Monaten veröffentlicht. Die in dieser Zeit eingegangenen Stellungnahmen werden in den Arbeitsausschüssen mit den Einsprechern diskutiert, danach werden im Konsensverfahren überarbeitete Manuskripte erstellt. Diese werden nach Verabschiedung durch den zuständigen Arbeitsausschuss bei DIN eingereicht und als Norm veröffentlicht.

Um die Mitarbeit von deutschen Experten in internationalen Normungsgremien (IEC, ISO) und den entsprechenden Arbeitsausschüssen sicherzustellen, werden von DIN e.V. die dazu erforderlichen Spiegelgremien eingerichtet, in denen die Dokumente der ISO/IEC verteilt, entsprechende Stellungnahmen erarbeitet und an ISO/IEC weitergeleitet werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben wird in folgenden Schritten durchgeführt:

- Die Normen wurden den folgenden Arbeitsausschüssen zugeordnet:
  - DIN 25422
    NA 062-07-62 AA „Strahlenschutzeinrichtungen“
  - Normen der Reihe DIN 25425
    NA 062-07-63 AA „Radionuklidlaboratorien“
  - Normen der Reihe DIN 54115
    NA 062-07-47 AA „Zerstörungsfreie Prüfung in der Kerntechnik“
- Die Arbeitsausschusssitzungen werden durchgeführt (bis zu 3 Termine pro Jahr) und die vergebenen Aufgaben nachverfolgt. Je nach Beschluss werden Vorlagen für die Überarbeitung erstellt und dann als Manuskript zum Norm-Entwurf verabschiedet. In der Geschäftsstelle erfolgt dann die Drucklegung der Texte und Veröffentlichung als Norm-Entwurf.
- Nach Ablauf der Einspruchsfrist wird die Einspruchsverhandlung durchgeführt. Sind alle Einsprüche behandelt, wird eine Vorlage zur Norm erstellt und als Manuskript zum Druck als Norm verabschiedet. In der Geschäftsstelle erfolgt die Schlussbearbeitung und Drucklegung bzw. Veröffentlichung als Norm.
- Auf den Sitzungen der Arbeitsausschüsse werden die internationalen Themen besprochen und in die Normüberarbeitung mit einbezogen.

5. ERGEBNISSE

5.1 ZU DIN 25422 "AUFBEWAHRUNG UND LAGERUNG RADIOAKTIVER STOFFE - ANFORDERUNGEN AN AUFBEWAHRUNGSEINRICHTUNGEN UND DEREN AUFSTELLUNGSRÄUME ZUM STRAHLEN-, BRAND- UND DIEBSTAHLSCHUTZ"

Der Arbeitsausschuss hatte auf seiner Sitzung Ende des Jahres 2018 beschlossen, die Überarbeitung der Norm erst wieder aufzunehmen, wenn den Beteiligten Zugriff auf die SEWD[1)]-Richtlinie gegeben ist. Die Klärung mit dem BMU, wie die einzelnen Mitarbeiter des Ausschusses Einblick in die Richtlinie bekommen können, war zeitaufwändig. Im Januar 2019 bekamen alle relevanten Mitarbeiter Einsichtsrechte, so dass die Überarbeitung von DIN 25422 zeitnah aufgenommen werden konnte. Es wurden dazu mehrere AG-Treffen durchgeführt. Es war geplant, dass das Ergebnis der AG am 9.5.2019 auf der Sitzung des Ausschusses vorgestellt und zum Norm-Entwurf verabschiedet wird. Auf der Sitzung wurden neue Aspekte der SEWD-Richtlinie, inzwischen Version 9, diskutiert, die in die Fassung einfließen mussten. Es wurden weitere Termine der AG festgelegt. Die endgültige Verabschiedung wurde wie geplant auf der Sitzung am 7.11.2019 beschlossen. Das Manuskript wurde entsprechend aufbereitet und wegen der Brisanz des Themas noch einmal zur abschließenden Kontrolle im Arbeitsausschuss verteilt. Die Frist endet am 24.1.2020. Danach wird das Manuskript zum Druck als Entwurf eingereicht.

5.2 ZU DER NORMENREIHE DIN 25425 "RADIONUKLIDLABORATORIEN"

Der Arbeitsausschuss traf sich zu seiner ersten Sitzung zu diesem Thema am 1. März 2018. Auf dieser Sitzung wurde das weitere Vorgehen zur Überarbeitung der Normen (Zeitplan, Projektpaten, zu erledigende Aufgaben der Experten und der Geschäftsstelle) festgelegt.

Es wurde festgestellt, dass für eine abschließende Überarbeitung das Strahlenschutzgesetz und die zugehörige Strahlenschutzverordnung veröffentlicht sein müssen. Die Überarbeitung von DIN 25425-3 und DIN 25425-4 wurde trotzdem begonnen, um die technischen Änderungen, die nicht direkt mit den Änderungen der gesetzlichen Regelungen zusammenhängen, auf der kommenden Sitzung bereits abschließend diskutieren zu können. Dazu wurden mehrere Webkonferenzen geplant und durchgeführt.

Auf der Sitzung am 18. Oktober 2018 wurden beide Manuskripte fertiggestellt, so dass nach Rücksprachen mit den Obleuten und Projektpaten die Umfrage zur Freigabe zur Veröffentlichung als Entwurf gestartet werden konnte. Die Umfrage endete am 2. Januar 2019. Die Rückmeldungen der Experten wurden eingearbeitet und die Manuskripte zur Veröffentlichung eingereicht. Die Entwürfe sind mit Ausgabe März 2019 erschienen.

[1)] Richtlinie für den Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter

Die Einspruchsfristen endeten Mitte April bzw. Anfang Mai 2019. Die Ausschusssitzung fand am 16.7.2019 statt. Auf dieser wurden die Einspruchsverhandlungen durchgeführt und die Manuskripte zur Norm verabschiedet. Die fertigen Manuskripte wurden zum Druck eingereicht. Die Veröffentlichung erfolgte wie geplant mit Ausgabe Dezember 2019. Die Überarbeitung für die Teile 3 und 4 ist damit abgeschlossen.

Die Überarbeitung von DIN 25425-1 wurde am 18. Oktober 2018 begonnen. Es wurde eine Arbeitsgruppe bestimmt. Zur Sitzung am 9. Mai 2019 wurde ein Manuskript für den Entwurf vorlegt. Auf der Sitzung wurden weitere Änderungen beschlossen. Die Zuarbeiten sollten bis Ende September 2019 geliefert werden. Auf der Dezember-Sitzung wurden noch weitere Änderungen identifiziert. Sobald diese eingearbeitet sind, wird eine Umfrage im Ausschuss zur Freigabe zum Entwurf gestartet. Ziel sollte sein, die Einspruchsverhandlung auf der nächsten Sitzung durchzuführen, die für den 26. Juni 2020 geplant ist.

DIN 25425-4 Beiblatt 2 wurde auf der Juli-Sitzung überprüft und auch hier Überarbeitungsbedarf festgestellt. Es wurde vereinbart bis zur Sitzung im November grundsätzliche Vorschläge vorzulegen. Auf der Sitzung wurde eine AG gegründet, die nun ein entsprechendes Manuskript erstellen wird.

Für DIN 25425-5 sind keine inhaltlichen Änderunge erforderlich. Eine abschließende Prüfung wird auf der kommenden Sitzung durchgeführt.

5.3 ZU DEN NORMEN DER REIHE DIN 54115 "ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG - STRAHLENSCHUTZREGELN FÜR DIE TECHNISCHE ANWENDUNG UMSCHLOSSENER RADIOAKTIVER STOFFE"

Der Arbeitsausschuss hatte die Überarbeitung der Normenreihe beschlossen und dabei folgendes Vorgehen vereinbart:

- Der Arbeitsausschuss beschließt, die beiden Normteile 1 und 3 werden zu DIN 54115 Teil 1 zusammengefasst.
- Der Arbeitsausschuss beschließt das Beiblatt 1 zu DIN 54115-1 zurückzuziehen und die Information als Anhang in den Teil 5 zu DIN 54115 aufzunehmen.
- Der Arbeitsausschuss beschließt ein Normungsvorhaben zu DIN 54115 Teile 1, 4, 5 und 6 zu starten.
- Der Arbeitsausschuss schlägt dem NA 062-07-62 AA vor, die Inhalte von DIN 54115-7 mit in die DIN 25422 aufzunehmen.

DIN 54115-1 liegt inzwischen als Entwurf mit Ausgabe Dezember 2019 vor. Die Einspruchsfrist endete am 8.1.2020. Die Einsprüche werden auf der Sitzung am 17.2.2020 besprochen und das Manuskript dann zur Norm verabschiedet. Die Veröffentlichung als Norm ist für Juni 2020 vorgesehen.

Die Sichtung von DIN 54115-4 ergab eine große Übereinstimmung mit ISO 3999, daher wurde diskutiert, ob nicht eine Übernahme der ISO-Norm mit Modifizierungen der bessere Weg sei. ISO 3999 fällt aber in den Zuständigkeitsbereich der DKE und der entsprechende Ausschuss, der über eine Übertragung der Zuständigkeit auf dem NMP entscheiden konnte, tagte im Mai 2019. Nachdem die DKE die Trägerschaft von ISO 3999 an den NMP übertragen hat, konnte die ISO-Norm übersetzt werden und als Ersatz für Teil 4 zu DIN 54115 als Norm-Entwurf vorbereitet werden. Es findet eine Klärung mit der BAM statt, inwieweit eine Übernahme der ISO-Norm Auswirkungen auf die Zuständigkeit der BAM hat.

Der Arbeitsausschuss hat auf seiner letzten Sitzung festgestellt, dass die Überarbeitung von Teil 5 zwar technisch notwendig ist, allerdings auf Grund fehlender Zuarbeit seitens der BAM nicht möglich ist. Da der Teil 5 der Normenreihe technisch veraltet ist und nicht überarbeitet werden kann, wird Teil 5 ohne Ersatz zurückgezogen. Die Ankündigung zur Zurückziehung mit Einspruchsfrist erfolgte im Dezember 2019.

Weiterhin hat der Arbeitsausschuss die Bearbeitung von Teil 6 besprochen und wird hierzu ebenfalls zeitnah eine Entscheidung fällen. Hierbei ist noch abzuklären, ob die beteiligten Firmen sich an einer Überarbeitung inhaltlich kurzfristig beteiligen können, anderenfalls wäre auch dieser Normteil zurückzuziehen.
Im Nachgang zur Sitzung wurde mitgeteilt, dass eine kurzfristige Zuarbeit möglich ist und inzwischen auch erfolgte. Daher wird der Norm-Entwurf zu Teil 6 voraussichtlich Anfang 2020 veröffentlicht werden können.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Der Entwurf zu DIN 25422 wird voraussichtlich Anfang 2020 erscheinen. Die Einspruchsverhandlung wird im Sommer 2020 durchgeführt, so dass mit einem Erscheinen der Norm für Ende 2020 gerechnet werden kann.

Die Überarbeitung der Normenreihe DIN 25425 wird fortgesetzt. Die Überarbeitungen zu DIN 25425-3 und DIN 25425-4 wurden abgeschlossen, die Normen sind mit Ausgabe Dezember 2019 veröffentlicht.
DIN 25425-4 Beiblatt 2 wird voraussichtlich Mitte 2020 veröffentlicht werden. Das Manuskript zu DIN 25425-1 wird per Umfrage im Ausschuss zum Entwurf verabschiedet, so dass die Einspruchsverhandlung auf der nächsten Sitzung durchgeführt werden kann. Für DIN 25425-5 wurde bisher kein Überarbeitungsbedarf festgestellt.

DIN 54115-1 wurde mit Ausgabe Dezember 2019 veröffentlicht, die Herausgabe der Norm ist für Juni 2020 vorgesehen. Für DIN 54115-4 muss das weitere Vorgehen noch mit der BAM abgestimmt werden. Dazu finden zeitnah Gespräche statt.

Die Überarbeitung von DIN 54115-6 wurde begonnen, mit dem Entwurf ist Anfang 2020 zu rechnen. Für die Überarbeitung von Teil 5 wird weiter nach einer Lösung für die Umsetzung eines Ringversuches gesucht.

Thema Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition bei der mobilen Radiographie			
Subject *Survey of activity-related occupational dose exposure during mobile radiography*			
Kennzeichen 3617S72382	**Beginn** 01.10.2017	**Ende** 30.09.2020	**Fördermittel** EUR 167.857,-
Forschungs- / Auftragnehmer Brenk Systemplanung GmbH			
Projektleitung A. Kummer	**Fachbetreuung BfS** L. Kammerer / MB 4	**verantwortlich für den Text** A. Kummer	

1. ZIELSETZUNG

In Deutschland liegen mehrere Tausend gültige Genehmigungen zum Umgang mit radioaktiven Stoffen nach § 7 StrlSchV sowie § 3 RöV vor. Hiervon sind ein erheblicher Teil Genehmigungen zur zerstörungsfreien Materialprüfung mittels mobiler Strahlenquellen oder mobiler Röntgeneinrichtungen (mobile Radiographie). In diesem Arbeitsbereich werden verhältnismäßig hohe berufliche Strahlenexpositionen der etwa 2 500 in diesem Tätigkeitsfeld beschäftigten Personen im Vergleich zu anderen nach StrlSchV und RöV ausgeübten Tätigkeiten ermittelt. Das Expositionspotential soll durch eine detaillierte Analyse des Umgangs mit radioaktiven Quellen der mobilen Radiographie besser eingeschätzt und mögliche Optimierungen zum Schutz des beschäftigen Personals abgeleitet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt ist in fünf Arbeitspakete unterteilt:

2.1 ERMITTLUNG DER TÄTIGKEITEN, DER BENUTZTEN GERÄTE / RADIOAKTIVEN QUELLEN UND DER BETRIEBE IN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 1)

AP 1 umfasst die Erstellung und das Versenden einer Umfrage zur Datenerhebung zur Nutzung mobiler Radiographie bei relevanten Betrieben, um einen Überblick über die verwendeten Geräte, Anzahl der strahlenexponierten Mitarbeiter, die Arbeitsabläufe, Strahlenschutzmaßnahmen und das Notfallmanagement zu erlangen.

2.2 REGULATORISCHE ANFORDERUNGEN FÜR GERÄTE UND TÄTIGKEITEN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 2)

Im Rahmen des AP 2 werden Anforderungen und Regelungen für die Durchführung von Messungen mit Geräten zur mobilen Radiographie dargelegt. Dazu gehört die Darstellung der aktuellen Gesetze, Verordnungen und Richtlinien für den Betrieb und die Beförderung der Geräte.

2.3 DATENSAMMLUNG DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN PERSONENDOSEN (AP 3)

AP 3 dient der Sammlung von Expositionsdaten des Personals, wie sie beispielsweise durch Auswertung der betrieblichen Dosiserfassung, zusätzliche Messungen vor Ort oder aus Dosisdaten des Strahlenschutzregisters des BfS erhoben werden können. Neben der Erhebung werden die Daten auch auf ihre Konsistenz und Plausibilität geprüft.

2.4 AUSWERTUNG DER BESONDEREN VORKOMMNISSE, NOTFALLVORSORGE (AP 4)

AP 4 beschäftigt sich mit der Aufbereitung und Auswertung von Meldungen über besondere und potentielle Ereignisse, insbesondere beim Einsatz von hochradioaktiven Quellen, die zu ungeplanten Expositionen führen könnten.

2.5 DATENANALYSE (AP 5)

Der Fokus des AP 5 liegt auf der Analyse der dosimetrischen Daten in Bezug auf die Wirksamkeit und Angemessenheit der regulatorischen Anforderungen. Ziel ist dabei die Optimierung des Arbeitsschutzes mit konkreten Hinweisen zu Arbeitsabläufen, die zu Dosiseinsparungen führen können.

3. METHODIK

3.1 ERMITTLUNG DER TÄTIGKEITEN, DER BENUTZTEN GERÄTE / RADIOAKTIVEN QUELLEN UND DER BETRIEBE IN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 1)

Die Umfrage, die an verschiedene Betriebe mit mobiler Radiographie versendet wurde, dient der Datensammlung zu den Themenbereichen „verwendete Geräte“, „Anzahl der strahlenexponierten Mitarbeiter“, „Strahlenschutzmaßnahmen“ und „Notfall und Zwischenfälle“. Die Adressen der relevanten Betriebe sind in gewissem Umfang bekannt und wurden durch Verbände, wie beispielsweise der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP), Aufsichtsbehörden sowie Daten des Strahlenschutzregisters ergänzt.

3.2 REGULATORISCHE ANFORDERUNGEN FÜR GERÄTE UND TÄTIGKEITEN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 2)

Für das AP 2 wurden die bestehenden regulatorischen Anforderungen an die Verwendung und den Transport von Geräten für die mobile Radiographie recherchiert und aktuelle Richtlinien zusammengestellt.

3.3 DATENSAMMLUNG DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN PERSONENDOSEN (AP 3)

Im AP 3 werden anhand der Datenerhebung aus AP 1 Betriebe ermittelt, bei denen die Dosisdaten der verwendeten Geräte und Methoden sowie die tatsächlichen Dosiswerte der Mitarbeiter ausführlich erhoben werden. Um eine vollständige Abdeckung der Überwachung der Dosiswerte zu gewährleisten, werden den Betrieben zusätzliche Dosimeter bereitgestellt. Damit werden die involvierten Mitarbeiter (anonymisiert), die Methoden und Arbeitsabläufe, die ausgeführten Tätigkeiten und die Dauer des Einsatzes genau ermittelt und auf Plausibilität überprüft. Zusätzlich werden Strahlungsfelder in der Umgebung der Strahlenquellen bei der Installation, dem Abbau, während der Messdurchführung, dem Transport und der Lagerung der mobilen Messgeräte vor Ort mit geeigneten Ortsdosisleistungsmessgeräten gemessen.

3.4 AUSWERTUNG DER BESONDEREN VORKOMMNISSE, NOTFALLVORSORGE (AP 4)

AP 4 umfasst eine Literaturrecherche zu allen in Deutschland seit 2010 dokumentierten meldepflichtigen Vorkommnissen im Bereich der mobilen Radiographie. Zusätzlich werden mögliche Ereignisse benannt, die zu ungeplanten Expositionen hätten führen können.

3.5 DATENANALYSE (AP 5)

Die erhobenen Daten werden im AP 5 abschließend auf Wirksamkeit und Angemessenheit analysiert. Dabei werden vor allem die in AP 3 erhobenen Expositionsdaten der Strahlungsfelder in der Umgebung der Strahlenquellen und die Dosiswerte des Personals betrachtet. Aus der Datenanalyse können gegebenenfalls Optimierungsmöglichkeiten für die weiteren Tätigkeiten an den Geräten der mobilen Radiographie abgeleitet werden. Dazu gehören die Aspekte einer guten Strahlenschutzorganisation, Schutzausrüstung, von Vorgehensweisen und Arbeitsabläufen, schnelle Einschätzungen des Gefahrenpotentials bei besonderen Vorkommnissen und der Einfluss von Fortbildungs- und Informationsveranstaltungen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERMITTLUNG DER TÄTIGKEITEN, DER BENUTZTEN GERÄTE / RADIOAKTIVEN QUELLEN UND DER BETRIEBE IN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 1)

Im Forschungsvorhaben wurde eine Umfrage konzipiert und an eine umfassende Anzahl an Betrieben verschickt, die in der Gamma- und Röntgenradiographie tätig sind. Daraus sollen dosisintensive Einsatzbereiche und Arbeitsabläufe ermittelt werden.

Die Resonanz auf die verschickten Umfragen lag unter 10 % und führt zu einer geringen Dichte an gesammeltem Datenmaterial, so dass eine Auswertung möglich, aber statistisch nicht sehr repräsentativ ist. Dennoch bieten die Daten einen guten Überblick über die eingesetzte Messtechnik sowie die angelegte Spannung und üblichen Belichtungszeiten. Daraus lassen sich schon einzelne Aussagen über die möglichen Dosen und Risiken für das Personal ableiten.

4.2 REGULATORISCHE ANFORDERUNGEN FÜR GERÄTE UND TÄTIGKEITEN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 2)

Eine Liste von Verordnungen, Normen und Richtlinien zu den regulatorischen Anforderungen für Geräte und Tätigkeiten der mobilen Radiographie wurde erstellt. Darunter fallen die Strahlenschutz- (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV) und zahlreiche DIN-Normen. Grundlegend sind zunächst die Regelungen zur technischen Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe bei der zerstörungsfreien Prüfung.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERMITTLUNG DER TÄTIGKEITEN, DER BENUTZTEN GERÄTE / RADIOAKTIVEN QUELLEN UND DER BETRIEBE IN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 1)

Unter AP 1 wurden die Antworten der versendeten Fragebögen ausgewertet. In der mobilen Radiographie werden überwiegend die Strahlenquellen Ir-192 oder Se-75 verwendet. Eine weitere mögliche Strahlenquelle ist Co-60, die jedoch seltener verwendet wird. Die eingesetzten Aktivitäten und Belichtungszeiten hängen von der Strahlungsquelle, den Spezifikationen des Gerätes und dem Verwendungszweck ab. Ein direkter Vergleich der Belichtungszeiten und angesetzten Aktivitäten bei der Röntgenradiographie ist nur schwer möglich, da es sich immer um Geräte von unterschiedlichen Herstellern gehandelt hat.

Die durch die Umfrage erfassten strahlenexponierten Mitarbeiter sind zum Großteil der Strahlenschutzkategorie A zugehörig und unterliegen einer medizinischen Überprüfung. Die Auswertung der amtlichen Dosimeter ergab, dass die höchste jährliche effektive Dosis für Mitarbeiter in der mobilen Radiographie bis maximal 6 mSv pro Jahr beträgt. Der jährlich zulässige Grenzwert für strahlenexponiertes Personal liegt bei 20 mSv im Jahr. Der Großteil der Mitarbeiter erfährt jedoch Dosen unter 3 mSv (etwa 92 %). Etwa 50 % des gesamten exponierten Personals erhält eine Dosis von unter 1 mSv im Jahr. Die natürliche Strahlenbelastung in Deutschland variiert regional zwischen 1 und 10 mSv im Jahr. Um eine höhere Strahlenbelastung zu erkennen sind alle strahlenexponierten Mitarbeiter, neben dem amtlichen vorgeschriebenen Dosimeter, mit akustischem Alarm ausgestattet. Die Anzahl der durchgeführten Durchstrahlungsprüfungen variiert für das betroffene Personal stark zwischen einzelnen bis hin zu mehr als 100 Anwendungen im Monat.

In den meisten Betrieben beträgt der Abstand zur offenen Strahlenquelle während der Belichtung mehr als 10 Meter. Dazu ist das Gerät meist mit Kollimatoren, Abschirmungen und Blenden ausgestattet und zusätzlich werden Gebäudestrukturen und Bleiabschirmungen verwendet.

In den letzten fünf Jahren kam es nach Angaben der Betriebe zu keinem Zwischenfall, beinahe Unfall oder sonstigen Vorkommnissen bei der Verwendung von Strahlenquellen. Bei Unfällen würden die Informationen zu den Vorkommnissen an die zuständigen Aufsichtsbehörden oder andere öffentliche Institutionen weitergegeben.

5.2 REGULATORISCHE ANFORDERUNGEN FÜR GERÄTE UND TÄTIGKEITEN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 2)

In AP 2 wurden die aktuellen regulatorischen Anforderungen gesichtet und zusammengefasst. Übergeordnet fungieren die Strahlenschutzverordnung und das zum Ende 2018 verabschiedete Strahlenschutzgesetz sowie die Röntgenverordnung. Darin ist festgelegt, wie hoch die jährliche effektive und Organdosis für strahlenexponiertes Personal sein darf, welche Grenzwerte nicht überschritten werden dürfen und wie die Regularien überprüft werden müssen. In der Regel sind Strahlenschutzbeauftragte für die Überwachung und Einhaltung der Grenzwerte der Mitarbeiter zuständig.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeitspakete 1 und 2 sind abgeschlossen. Mit der durchgeführten Umfrage als auch der Zusammenfassung der regulatorischen Anforderungen konnte ein Überblick über die Tätigkeiten und Anwendungen sowie

der grundlegenden Verordnungen, Normen und Richtlinien der mobilen Radiographie erstellt werden. Die Vorbereitungen zu AP 3 sind abgeschlossen, so dass im weiteren Projektverlauf mit der Dosisüberwachung in relevanten Betrieben begonnen werden kann.

Thema Studie zu Aktivitäts- und Partikelgrößenverteilungen im Nano- und Millimeterbereich in der Fortluft kerntechnischer Anlagen mit und ohne Vollfilterung			
Subject *Study on the distribution of activity and particle sizes in the nano- and millimetre range in gaseous effluents from nuclear installations with and without filter*			
Kennzeichen 3617S72572	**Beginn** 01.06.2017	**Ende** 31.01.2020	**Fördermittel** EUR 563.792,-
Forschungs- / Auftragnehmer Brenk Systemplanung GmbH, Aachen RCM Radiochemie München, Garching			
Projektleitung Dr. S. Thierfeldt	**Fachbetreuung BfS** A. Heckel / UR 3	**verantwortlich für den Text** Dr. S. Thierfeldt, Dr. B. Krupa	

1. ZIELSETZUNG

Dieses Vorhaben bezieht sich auf Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus kerntechnischen Anlagen, die gem. § 47 StrlSchV radiologisch zu bewerten sind und über die an die Europäische Kommission sowie im Rahmen des Parlamentsberichts "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung" zu berichten ist. Hierfür müssen die Aktivitätsableitungen so genau wie möglich bestimmt werden. Als ein hierfür relevanter Faktor wird die Kenntnis der Aktivitätsverteilung als Funktion des aerodynamischen Partikeldurchmessers angesehen.

Für den bestimmungsgemäßen Betrieb kerntechnischer Anlagen liegen umfangreiche Untersuchungen vor, insbesondere für Partikel im Größenbereich zwischen ca. 1 µm bis 10 µm Durchmesser. Im Rahmen der Stilllegung kerntechnischer Anlagen ändert sich der Quellterm für die Ableitungen mit der Fortluft jedoch (z. B. durch die Anwendung von Zerlege- und Dekontaminationsverfahren usw.). Falls sich hierdurch die Partikelgrößenverteilung und ggf. die Verteilung der Aktivität auf die verschiedenen Partikelgrößenklassen ändern würde, müssten ggf. die Berechnungsvorschriften für die Modellierung der Ausbreitung dieser Partikel in der Umgebung der kerntechnischen Anlage modifiziert werden.

In diesem Vorhaben erfolgt vor diesem Hintergrund die nähere Untersuchung der Verteilung der Partikelgrößen und der Aktivitäten auf die Partikelgrößenklassen bei Ableitungen mit der Fortluft aus verschiedenen kerntechnischen Anlagen, darunter insbesondere solchen in der Stilllegungsphase. Ferner wird der Einfluss der Filterung untersucht.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

In Rahmen von AP 1 erfolgt eine Literaturrecherche in etablierten Fachzeitschriften und anderen einschlägigen Quellen mit dem Ziel eines Überblicks über vorhandene Messdaten zu Partikel- und Aktivitätsverteilungen in den beiden genannten interessierenden Größenbereichen aus kerntechnischen Anlagen und der Zusammenstellung der Messmethoden, die bei diesen Bestimmungen der Aktivitätsverteilungen verwendet wurden.

2.2 ERARBEITEN DER MESSSTRATEGIE, PLANUNG DER MESSUNGEN (AP 2)

Im Rahmen von AP 2 werden die Messungen konkret geplant, die anschließend in AP 3 durchgeführt werden. Hierzu gehört die Entwicklung einer Messstrategie, einschließlich der Auswahl geeigneter kerntechnischer Anlagen, sowie Einholung von Genehmigungen zur Durchführung der geplanten Messungen in kerntechnischen Anlagen mit und ohne Vollfilterung sowie von Anlagen im Rückbau.

2.3 EXPERIMENTELLE BESTIMMUNG DER PARTIKELGRÖßEN- UND AKTIVITÄTSVERTEILUNGEN IN KERNTECHNISCHEN ANLAGEN MIT UND OHNE VOLLFILTERUNG (AP 3)

Im Rahmen von AP 3 erfolgt die experimentelle Bestimmung der Partikelgrößen- und Aktivitätsverteilungen in kerntechnischen Anlagen mit und ohne Vollfilterung. Hierzu gehören die Bestimmung der Anzahl-, Massen- und nuklidspezifischen Aktivitätsverteilungen als Funktion des Aerosolpartikeldurchmessers, insbesondere in den Korngrößenbereichen <0,3 µm und >10 µm, die Ermittlung geeigneter Beprobungsstellen, z. B. in Teilabluftsträngen aus dem Containment oder im Fortluftkamin, die Durchführung dieser Messungen in kerntechnischen Anlagen mit und ohne Vollfilterung sowohl im bestimmungsgemäßen Betrieb als auch im Rückbau sowie die Bestimmung der Partikelgrößen- und Aktivitätsverteilungen mit ausreichender Auflösung in Bezug auf den Partikeldurchmesser.

3. METHODIK

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

Im Rahmen von AP 1 werden die Grundlagen für die späteren Messungen und deren Auswertungen erarbeitet. Es wird zunächst ein Überblick über vorhandene Messdaten zu Partikel- und Aktivitätsverteilungen vorwiegend in den Bereichen <0,3 µm und >10 µm in kerntechnischen Anlagen im bestimmungsgemäßen Betrieb und in konventionellen Anlagen im In- und Ausland gegeben. Darüber hinaus werden auch Ergebnisse aus Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen einbezogen. Die Ergebnisse werden in Form eines Berichts vorgelegt.

3.2 ERARBEITEN DER MESSSTRATEGIE, PLANUNG DER MESSUNGEN (AP 2)

Messungen der Verteilung der Partikelgrößen und der Aktivitäten werden in verschiedenen Kernkraftwerken, Forschungsreaktoren und radiochemischen Labors durchgeführt. In einem ersten Schritt werden passende Anlagen, die zur Mitarbeit bereit sind, ausgewählt. Für diese ausgewählten kerntechnischen Anlagen werden - falls notwendig - Genehmigungen bzw. aufsichtliche Zustimmungen eingeholt, um Partikelmessungen durchführen zu können. Anschließend werden die notwendigen Details für die weitere Vorgehensweise (wie Konstruktion von Übergangsstücken für den Anschluss der Messgeräte usw.) in Angriff genommen. Für jede Anlage wird dann mit dem zuständigen SSB[1)] eine Messstrategie erarbeitet.

3.3 EXPERIMENTELLE BESTIMMUNG DER PARTIKELGRÖßEN- UND AKTIVITÄTSVERTEILUNGEN IN KERNTECHNISCHEN ANLAGEN MIT UND OHNE VOLLFILTERUNG (AP 3)

Die Durchführung der Messungen gemäß der in AP 2 erarbeiteten Messstrategie erfolgt in zwei Schritten:

- Die Entnahme der Partikel erfolgt mit einem Impaktor. In den verschiedenen Impaktor-Stufen scheiden sich Partikel unterschiedlicher aerodynamischen Durchmesser ab.
- Diese nach Korngrößen getrennten Partikel werden gammaspektrometrisch und mit Messungen der Alpha- und Beta-Gesamtaktivität sowie weiteren Verfahren (Rasterelektronenmikroskopie, Massenspektrometrie usw.) untersucht.

Ziel ist die Ermittlung der Verteilung massenbezogener Aktivitäten relevanter Radionuklide auf die einzelnen Partikelgrößen und ein Vergleich dieser Verteilung mit vorliegenden Ergebnissen für Anlagen in der Betriebsphase.

4. DURCHFÜHRUNG

Im Berichtszeitraum wurden Messungen im Rahmen von AP 3 in den Anlagen KKI 1 (Kernkraftwerk Isar 1) und KWB (Kernkraftwerk Biblis) durchgeführt.

4.1 MESSUNGEN IM KKI 1

Im KKI 1 wurden zwei Messkampagnen durchgeführt. In der ersten Messkampagne wurden über vier Monate die Abluft aus dem Maschinenhaus direkt vor dem Hauptfilter sowie die Fortluft mittels zweier klassischer Niederdruck-Kaskadenimpaktoren der Firma Dekati beprobt. Dabei wurden mit der Messkampagne die Ziele ver-

[1)] Strahlenschutzbeauftragte*r

folgt, die massenbezogene Partikelverteilung sowie die partikelgetragenen Aktivitäten in den jeweiligen Partikelgrößenklassen vor und nach dem Hauptfilter zu bestimmen.

In der zweiten Messkampagne wurden Kurzzeitmessungen mit Hilfe der elektrischen Niederdruck-Kaskadenimpaktoren der Firma Dekati aus dem Forschungszentrum Jülich durchgeführt. Die Impaktoren der beiden Messkampagnen sind baugleich, sodass eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse gewährleistet ist. Mithilfe dieser Messgeräte ist es möglich, die Partikelanzahl pro Größenklasse zu bestimmen; die elektronischen Geräte erlauben zusätzlich jedoch die unmittelbare Anzeige des Partikelstroms in jeder Größenklasse. Die in den einzelnen Impaktorstufen gesammelten Partikel können – genau wie in der ersten Messkampagne – radiologisch ausgewertet werden. Die durchgeführten Versuche beinhalten die Bestimmung der Partikelanzahlverteilung in der Fortluft und der Abluft direkt vor dem Hauptfilter, des Maschinenhauses, der Abluft aus der Doppelstrahlanlage sowie in der Abluft eines thermischen Zerlegeplatzes.

4.2 MESSUNGEN IM KWB

Im KWB wurde im Berichtszeitraum eine Messkampagne mit drei Einzelmessungen zur Bestimmung der Partikelmassenverteilung sowie der zugehörigen Bestimmung der Aktivität durchgeführt. Im Gegensatz zu den Messkampagnen im KKI 1 war das Ziel, die Partikelverteilung (Aktivität und aerodynamischer Durchmesser) möglichst nah am Entstehungsort der jeweiligen Zerlegeplätze zu bestimmen. Dazu wurden jeweils Proben am Zerlegeort eines Dampferzeugers durch Seilsägen, eines Nachwärmekühlers durch Seilsägen und an einem Nachzerlegeplatz entnommen.

5. ERGEBNISSE

5.1 MESSERGEBNISSE KKI 1

Durch die Messung der auf die Masse bezogenen Partikelgrößenverteilung in der Fortluft und in der Abluft des Maschinenhauses zeigt sich deutlich die effektive Filterwirkung für Partikel mit aerodynamischem Durchmesser größer als etwa 1 µm. Auch für kleinere Partikel ergibt sich durch die Wirkung der Filter eine Reduktion der Partikeldichte.

Aus der Langzeitmessung ergab sich eine Gesamtpartikeldichte in der Fortluft von 1 µg/m³ bzw. in der Abluft des Maschinenhauses von ca. 4 µg/m³. Durch die sehr geringe Massendichte waren die Messung der Gamma-Aktivitätsverteilung nicht und die Messung der Alpha- und Beta-Aktivitätsverteilung nur eingeschränkt möglich. Es ergab sich jeweils eine Gesamt-Aktivitätskonzentration von ca. 155 $\mu Bq_{\alpha}/m^3$ bzw. von 404 $\mu Bq_{\beta}/m^3$ in der Abluft des Maschinenhauses.

In der Fortluft konnte keine Alpha- und Beta-Aktivität festgestellt werden. Für die rechnerische Bestimmung der Aktivitätskonzentration in der Luft wurden daher zum Vergleich die Messwerte aus der Abluft des Maschinenhauses extrapoliert. Aus dieser Annäherung ergibt sich eine Aktivitätskonzentration in der Fortluft von 18 $\mu Bq_{\alpha}/m^3$ bzw. 64 $\mu Bq_{\beta}/m^3$.

Da die Auswertung der beiden Langzeitmessungen mittels Gammaspektrometrie kein Ergebnis oberhalb der Nachweisgrenzen (auch bei sehr langen Messzeiten) ergeben hat, wurden die Proben aus der Abluft des Maschinenhauses zur Gammaspektrometrie im Ultra-Low-Level-Gammaspektrometer im untertätigen Niederniveaumesslabor Felsenkeller der VKTA verschickt. Die hierzu gehörigen Messergebnisse liegen zum Berichtszeitpunkt noch nicht vor.

Es wurden auch kurzzeitige Online-Messungen durchgeführt, bei denen die Partikelanzahldichte nach Größenklassen gemessen wurde. Einerseits wurden zum direkten Vergleich wieder die schon für die Langzeitmessung genutzten Messstellen an der Fortluft und an der Abluft des Maschinenhauses beprobt, andererseits auch die Abluft aus Zerlegearbeiten an der Doppelstrahlanlage und einem thermischen Zerlegeplatz. Schließlich erfolgte auch eine Messung in der Umgebungsluft des Maschinenhauses. Durch die sehr geringe akkumulierte Masse auf den Impaktorplättchen bei den Kurzzeitmessungen war eine radiologische Auswertung durch nichtzerstörende Analytik nicht möglich, während die zerstörende Analytik noch aussteht. Die Messungen geben aber einen guten Einblick in die Verteilung der Partikel in den verschiedenen Größenklassen.

5.2 MESSERGEBNISSE KWB

Die erste Messung am Zerlegeplatz (Seilsäge) des Dampferzeugers wurde über 23 h durchgeführt. Trotz der vergleichsweise kurzen Messzeit war auf den Impaktor-Plättchen eine Ablagerung gut zu erkennen. Insge-

samt wurde über alle Stufen eine akkumulierte Masse von 3,210 mg gemessen. Daraus ergibt sich rechnerisch eine Massenkonzentration in der Luft von 0,228 mg/Nm³ (Nm = Norm-Kubikmeter). Die Masse auf den einzelnen Stufen entspricht einer bimodalen Verteilung mit lokalen Maxima bei ca. 0,3 µm und 2,5 µm (aerodynamischer Durchmesser).

Die zweite Messung wurde über ca. 47 Stunden durchgeführt. Trotz der im Vergleich zur ersten Messung doppelt so langen Messzeit war auf den Impaktorplättchen deutlich weniger Masse festzustellen. Hier wurden eine Gesamtmasse von 1,660 mg und eine Massenkonzentration in der Luft von 0,059 mg/Nm³ bei nicht eindeutiger Massenverteilung bestimmt.

Die dritte Messung am Nachzerlegeplatz wurde über 24 Stunden durchgeführt. Der metallische Charakter der Partikel war auf den Impaktorplättchen gut erkennbar. Die akkumulierte Gesamtmasse betrug 3,050 mg, woraus eine Massenkonzentration von 0,215 mg/Nm³ bestimmt wurde. Durch die relativ hohe Anzahl an Plättchen mit Gewichtsverlust lässt sich auch hier keine klare Verteilung nach Größenklassen erkennen.

Für die radiologische Auswertung der Messungen wurde zunächst eine gammaspektrometrische Auswertung durchgeführt. Da sich auf den einzelnen Plättchen nur wenig Masse befindet, wurden für diese Messung zunächst mehrere Plättchen gemeinsam gemessen. In einem zweiten Schritt wurden die Alpha- und Beta-Aktivitäten mittels Gasdurchflusszähler auf den einzelnen Plättchen gemessen. Die Plättchen, auf denen Aktivität festgestellt werden konnte, wurden anschließend nochmals einzeln mittels Gammaspektrometrie gemessen.

Die Verteilung der Aktivitätskonzentration, bezogen auf das Gasvolumen, zeigt, dass die Aktivitätskonzentration in der Luft der Massenverteilung recht genau folgt. Für die Größenklasse <0,25 µm wurde auf Grund der geringen Masse keine Aktivität festgestellt. Durch die hohe Filterwirkung ab ca. 1 µm wird fast die gesamte Aktivität im Filter zurückgehalten.

Die auf das Volumen bezogene Verteilung zeigt bei der zweiten Messung eine ähnliche Verteilung wie in der ersten Messung. Hier wurden bei der Gammaspektrometrie und bei der Alpha-Aktivitätsmessung keine messbaren Ergebnisse erzielt. Jedoch folgt die Verteilung der Beta-Aktivitätskonzentration der der Massenverteilung.

Bei der dritten Messung ist auch nur Beta-Aktivität feststellbar, deren Verteilung ebenfalls sehr gut mit der Massenverteilung über die Größenklassen korreliert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im März 2020 wird im KWB zunächst noch eine weitere Messkampagne mit Kurzzeitmessungen durchgeführt, daran anschließend eine weitere Langzeitmessung. Des Weiteren werden durch die RCM noch weitere zerstörende Messverfahren für die radiologische Analyse der bereits vorliegenden Proben angewendet. Die zusätzlich geplanten Messungen bei thermischen Zerlegeverfahren der Firma Siempelkamp werden vorbehaltlich einer Genehmigung durch den Betreiber im Anschluss an die Messkampagne im KWB durchgeführt.

Thema Erweiterung und Aktualisierung von ProZES (Programm zur Berechnung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit zwischen einer Erkrankung und einer Strahlenexposition) **Subject** *Extension and update of ProZES (program for assessement of assigned share between cancer and radiation exposure)*			
Kennzeichen 3618S72230	**Beginn** 01.09.2018	**Ende** 31.08.2019	**Fördermittel** EUR 156.999,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München, Institut für Strahlenschutz			
Projektleitung Dr. M. Eidemüller	**Fachbetreuung BfS** Dr. M. Schnelzer / WR 3	**verantwortlich für den Text** Dr. M. Eidemüller	

1. ZIELSETZUNG

In dem Forschungsvorhaben soll das Software-Paket ProZES weiterentwickelt werden. In zwei früheren vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) geförderten Forschungsvorhaben wurde die ProZES-Software entwickelt. Diese berechnet die Zusammenhangswahrscheinlichkeit zwischen einer Krebserkrankung und vorangegangener Strahlenexposition und wurde mit neuen strahlenepidemiologischen Daten und aktuellen Modellen zum Strahlenrisiko entwickelt. Dabei wurden für die häufigsten Krebserkrankungen eigens entwickelte Modelle verwendet; für die anderen Krebsarten wurden gruppierte Modelle entwickelt. Das Programm befindet sich zur Zeit in einer Testphase. Auf Basis der gesammelten Erfahrungen wurden in einem Fachgespräch Vorschläge zur Erweiterung, Aktualisierung und Verbesserung der Software erarbeitet. Diese sollen in diesem Forschungsvorhaben umgesetzt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt gliedert sich in 3 Arbeitspakete mit unterschiedlichen Einzelzielsetzungen.

2.1 ERGÄNZEN FEHLENDER BERECHNUNGSMÖGLICHKEITEN (AP 1)

Die aktuelle Version von ProZES enthält kein Risikomodell für Multiples Myelom. Auf Basis der Daten der Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki (LSS[1)]-Kohorte) soll ein Risikomodell entwickelt werden.

Die aktuelle Version von ProZES enthält keine Möglichkeit, die Zusammenhangswahrscheinlichkeit bei Erkrankungen an mehreren Primärtumoren zu berechnen. Eine solche Methode soll entwickelt und in die Software implementiert werden.

2.2 ÜBERARBEITEN DER BERECHNUNGSMÖGLICHKEITEN MIT VERBESSERUNGSBEDARF (AP 2)

Die Leukämie-Modelle sollen mit dem LSS-Datensatz neu analysiert werden. Dabei soll ein besonderer Schwerpunkt auf die Robustheit der Modelle gelegt werden. Für verschiedene mögliche Expositionsszenarien sollen die Risikowerte evaluiert werden.

Das Berechnungsverfahren für die Verursachungswahrscheinlichkeit von Lungenkrebs durch Hoch-LET-Strahlung im Bergbau soll überarbeitet werden. Das Modell soll in Abstimmung mit der BfS-Fachbetreuung auf der Wismut-Kohorte basieren.

Das derzeitige Berechnungsverfahren für die Verursachungswahrscheinlichkeit von Lungenkrebs durch Radon und Radonfolgeprodukte in Wohnräumen soll hinsichtlich seiner Eignung für den Arbeitsplatz überprüft und gegebenenfalls durch ein modifiziertes Verfahren ersetzt werden.

[1)] Life Span Study

2.3 VERBESSERN DER BENUTZERFREUNDLICHKEIT DES PROGRAMMS (AP 3)

Es sollen folgende Aspekte der ProZES-Software verbessert und implementiert werden:

- Tutorial und Benutzerfreundlichkeit:
  - Erstellung eines Tutorials mit Beispielrechnungen
  - Überarbeitung der Hilfe-Datei des geänderten Programms
  - Überprüfung von Möglichkeiten geeigneter Pop-up-Hilfen und deren Implementierung
  - Überprüfung der Wertebereiche der verschiedenen Eingabeparameter.
- Modellimplementation und Qualitätssicherung:
  - Die Möglichkeit der Eingabe der Daten über ein Excel-Formular soll überprüft werden und gegebenenfalls implementiert werden.
  - Die Implementation der finalen Risikomodelle und Erweiterungen soll abgeschlossen werden.
  - Eine Qualitätssicherung und Tests der implementierten Risikomodelle soll vorgenommen werden.

3. METHODIK

Die Entwicklung der Risikomodelle und Berechnung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit soll auf Basis der in ProZES implementierten Methodik erfolgen. Die Risikomodelle werden explizit für die Leukämie-Subtypen ALL[1)], AML[2)], CML[3)] und Lymphome inklusive CLL[4)] erstellt. Für die Lungenkrebsmodelle sollen Effektmodifikatoren wie Altersabhängigkeit und erhöhte Atemrate überprüft werden. Inzidenzraten der entsprechenden Endpunkte müssen aus Datenbanken für die deutsche Bevölkerung gewonnen werden. Die erhaltenen Risikomodelle müssen auf Plausibilität sowie Konsistenz mit der Literatur überprüft werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Risikomodelle für die Leukämiesubtypen ALL, AML, CML und Lymphome inklusive CLL wurden anhand der LSS-Daten neu analysiert und überarbeitet. Die Modelle wurden insbesondere robuster im Hinblick auf verschiedene mögliche Expositionsszenarien und Altersabhängigkeiten gemacht.

Die Modelle für ProZES zu Lungenkrebs durch Radon und Radonfolgeprodukte im Bergbau beruhen auf den Ergebnissen der Wismut-Kohorte, der weltweit größten Kohorte zu Lungenkrebs nach Radonexposition von Minenarbeitern. Zwei potentiell mögliche neue Modelle, die Altersabhängigkeiten des Risikos berücksichtigen, wurden vom BfS zur Verfügung gestellt.

Das bisherige Berechnungsverfahren für die Zusammenhangswahrscheinlichkeit von Lungenkrebs durch Radon und Radonfolgeprodukte in Innenräumen wurde hinsichtlich seiner Eignung für den Arbeitsplatz überprüft. Dazu wurde eine Literaturrecherche und -auswertung zu weiteren möglichen Effektmodifikatoren vorgenommen.

5. ERGEBNISSE

Die Risikomodelle für Multiples Myelom, ALL, AML, CML und Lymphome inklusive CLL wurden neu erstellt bzw. überarbeitet und in die Software implementiert. In die bisher implementierten Leukämie-Modelle ging die Information ein, ob sich eine Person während der Detonation in Hiroshima bzw. Nagasaki oder in deren Umland aufhielt. Die Re-Analyse ergab, dass Merkmale mit dieser Information zum Teil nicht statistisch signifikant waren. Sie wurden deshalb aus den neuen Modellen entfernt. In die Berechnung des Hintergrundrisikos ging ein Term ein, der sich quadratisch mit dem Geburtsjahr b verhält, ~ $(b - 1915)^2$. Dieser Term ist für eine große Schwankung des verbundenen Risikos innerhalb weniger Jahrzehnte verantwortlich, die nicht realistisch erscheint. Der Term wurde aus den Risikomodellen entfernt. Für das Strahlenrisiko ergaben sich insbesondere bei CML deutliche Änderungen in der Beschreibung der Altersabhängigkeiten.

TB 07

---

1) akute lymphatische Leukämie
2) akute myeloische Leukämie
3) chronische myeloische Leukämie
4) chronische lymphatische Leukämie

Die zwei vom BfS entwickelten Lungenkrebsmodelle der Wismut-Kohorte enthalten eine Abhängigkeit des Strahlenrisikos vom Alter bei Exposition und der Zeit seit Exposition, unterscheiden sich aber in der Berücksichtigung der Expositionsrate. Beide Modelle kommen für eine Implementierung in Frage und sollen getestet werden.

Das ProZES-Modell für Lungenkrebs in Innenräumen basiert weiterhin auf den Ergebnissen der Studie von Darby et al. (2005, 2006) mit einem Risikowert von ERR[1)] = 0,16 (95 % CI[2)]: 0,05; 0,31) pro 100 Bq/m^{-3}. Da es aktuell keinen quantitativ belastbaren Zusammenhang des Risikos mit weiteren möglichen Effektmodifikatoren gibt, entspricht das neue ProZES-Modell für Radon-Exposition in Innenräumen dem alten Modell mit einer linearen Abhängigkeit von Radonkonzentration und Aufenthaltszeit, erweitert um den Effekt einer veränderten Atemrate,

$$ERR = \beta \cdot f_{AR} \cdot q \cdot T.$$

Hierbei ist f_{AR} die relative Atemrate einer beruflich exponierten Person im Vergleich zu einer Person im Wohnhaus. Für eine überwiegend sitzende berufliche Tätigkeit ist f_{AR} = 1,04, für eine stärker körperliche Tätigkeit gilt f_{AR} = 1,45. Der Wert *q* ist die vom Anwender eingegebene Radon-Konzentration in Innenräumen in Bq/m^{-3}, und T ist die gesamte Aufenhaltsdauer in Stunden.

In der Oberfläche der Software wurde ein zusätzlicher Reiter implementiert, der ein Bild zum ERR, EAR[3)] und der Zusammenhangswahrscheinlichkeit Z über einen vorgegebenen Altersbereich anzeigen kann. Mithilfe der Darstellung der Risikofunktionen sollen die Risikomodelle auf Plausibilität überprüft werden. Diese für die Qualitätskontrolle wichtige Funktionalität wird in der Endversion für Anwender nicht sichtbar sein.

In die Oberfläche wurden Icons implementiert, um dem Benutzer eine optische Hilfestellung für die Anzeige von Hilfstexten zu geben, die erscheinen, wenn der Benutzer mit dem Mauszeiger darüber fährt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die geplante Weiterarbeit beinhaltet:

- Überprüfung und Auswahl der Lungenkrebsmodelle für den Bergbau
- Qualitätskontrolle der neu implementierten Modelle mit Expositionsszenarien
- Finalisierung der Überarbeitung der Programmoberfläche
- Erstellen eines Tutorials.

TB 07

1) excess relative risk, zusätzliches relatives Risiko
2) Konfidenzintervall
3) excess absolute risk, zusätzliches absolutes Risiko

Thema			
Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG und standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle			
Subject			
Update of the investigation and evaluation of task-related radiation exposure in nuclear facilities and on-site interim storage facilities for radioactive waste			
Kennzeichen 3618S72392	**Beginn** 01.11.2018	**Ende** 30.09.2021	**Fördermittel** EUR 317.854,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH			
Projektleitung Dr. A. Günther	**Fachbetreuung BfS** L. Kammerer / MB 4	**verantwortlich für den Text** Dr. A. Günther	

1. ZIELSETZUNG

Ein erheblicher Teil der gesamten beruflichen Exposition in Deutschland entsteht während des Betriebs und bei Revisionsarbeiten in kerntechnischen Anlagen, bei Arbeiten nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs (im so genannten Nachbetrieb) und bei Arbeiten zur Stilllegung und dem Rückbau dieser Anlagen. Durch die endgültige Abschaltung von acht Leistungsreaktoren im Jahr 2011, drei weiteren bis Ende 2019 und der Abschaltung aller Leistungsreaktoren bis 2022 erhält die mit den genannten Arbeiten einhergehende Exposition zusätzlich eine aktuelle Bedeutung für den radiologischen Arbeitsschutz in kerntechnischen Anlagen. Ebenso gewinnt der Betrieb standortnaher Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente sowie für die Lagerung radioaktiver Abfälle aus Stilllegung und Abbau von Leistungsreaktoren an Bedeutung.

Eine optimierte Arbeitsplanung und -durchführung und die systematische Auswertung gemachter Erfahrungen kann zu beträchtlichen Dosiseinsparungen führen. Um entsprechende Methoden hierzu weiterentwickeln zu können, ist eine detaillierte Kenntnis der Ursachen für die Exposition des Personals unabdingbare Voraussetzung. Dazu sind u. a. gezielte Analysen der durchgeführten Tätigkeiten und der damit einhergehenden Exposition erforderlich, die hinsichtlich des erforderlichen Datenmaterials über Daten der amtlichen Personendosimetrie hinausgehen.

Im Rahmen dieses Vorhabens werden frühere Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen beruflichen Exposition in kerntechnischen Anlagen unter dem Gesichtspunkt der Optimierung fortgeschrieben. Betrachtet werden deutsche Kernkraftwerke, Anlagen der Ver- und Entsorgung sowie deutsche standortnahe Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle. Grundlage der Untersuchungen sind fortlaufend zu sammelnde Daten und Informationen zur beruflichen Exposition in den kerntechnischen Anlagen, die die Datenreihen früherer Jahre fortsetzen und ergänzen, sowie nationale und internationale Erfahrungen zum beruflichen Strahlenschutz. Auf der Grundlage der Analyse der gesammelten Informationen werden Vorschläge zur Optimierung der Arbeitseinsätze und verwendeten Arbeitsmittel insbesondere bei wiederkehrenden Prüfungen und bei typischen Arbeitsschritten bei der Revision und der Stilllegung erarbeitet. Des Weiteren werden relevante Vorhabensergebnisse in den nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch, insbesondere im Rahmen der Mitarbeit im Information System on Occupational Exposure (ISOE) der OECD Nuclear Energy Agency (NEA), eingebracht.

Darüber hinaus werden aufbauend auf den Ergebnissen der Vorläufervorhaben Untersuchungen zum Einsatz ausländischen Fremdpersonals in kerntechnischen Anlagen durchgeführt und Aspekte vertieft analysiert, die sich aus den unterschiedlichen nationalen Verfahrensregelungen und Strahlenschutzsystemen des Herkunftslandes des Fremdpersonals und des Landes der kerntechnischen Anlage ergeben.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

2.1 DATENERHEBUNG UND DOKUMENTATION

Für kerntechnische Anlagen in Deutschland werden Informationen und Daten, die für die Dokumentation und Auswertung der beruflichen Exposition in den Anlagen von Bedeutung sind, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der durchgeführten Tätigkeiten für die Jahre 2017 bis 2019 erhoben, aufbereitet und in jährlichen bzw. zweijährlichen Berichten dokumentiert. Die zu erhebenden Daten stammen aus der betrieblichen Dosimetrie der Anlagen und weisen einen Detailierungsgrad auf, der höher ist als derjenige der Daten der amtlichen Strahlenschutzüberwachung.

2.2 DATENANALYSE

Anhand der Daten werden die Zusammenhänge zwischen der beruflichen Exposition und den sie beeinflussenden Faktoren untersucht und die Möglichkeiten der Reduktion der Exposition dargestellt. Schwerpunkt der Analyse sind die zu verrichtenden Tätigkeiten und die ergriffenen technischen und arbeitsorganisatorischen Strahlenschutzmaßnahmen. Soweit im Hinblick auf Aussagen über Optimierungsmöglichkeiten des Strahlenschutzes oder über Dosisreduzierungen sinnvoll, sind hierbei Teilaspekte von durchgeführten Tätigkeiten in die Analyse einzubeziehen.

Die zu erfassenden Daten und ihre Auswertungen führen frühere Daten und Auswertungen fort und ermöglichen einen Vergleich auf nationaler und internationaler Ebene (OECD und EU). Deshalb wird bei der Datenerfassung und Aufbereitung eine international einheitliche Charakterisierung der Tätigkeiten angewendet. Die internationale Zusammenarbeit und der Informationsaustausch erfolgen insbesondere durch die Mitarbeit im ISOE.

2.3 OPTIMIERUNGSEMPFEHLUNGEN

Auf der Basis der erhobenen Daten und Analyseergebnisse sowie nationaler und internationaler Entwicklungen werden Vorschläge zur Optimierung der Arbeitseinsätze und der Arbeitsmittel, insbesondere bei wiederkehrenden Prüfungen und bei typischen Arbeitsschritten der Revision, im Nachbetrieb und bei der Stilllegung erarbeitet.

Bei der Erarbeitung der Optimierungsempfehlungen werden nationale und internationale Entwicklungen berücksichtigt. Eine regelmäßige Teilnahme am nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch wie beispielsweise eine Teilnahme an der Working Group on Radiological Protection Aspects of Decommissioning Activities at Nuclear Power Plants (WGDECOM) von ISOE sowie diesbezügliche Aktivitäten der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) sind vorgesehen.

2.4 EINSATZ VON AUSLÄNDISCHEM FREMDPERSONAL

Aufbauend auf den Ergebnissen des Vorläufervorhabens und unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus der Sammlung und Analyse der Expositionsdaten sowie des gezielten Erfahrungsaustauschs auf nationaler und internationaler Ebene werden Fragen im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz ausländischen Fremdpersonals bearbeitet. Ziel ist es, Beiträge zu eindeutigen Vorgehensweisen beim Einsatz ausländischen Fremdpersonals in deutschen Kernkraftwerken zu leisten, die einen grenzüberschreitenden Strahlenschutz sicherstellen.

3. METHODIK

3.1 METHODIK ZUR UNTERSUCHUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN KERNTECHNISCHEN ANLAGEN

Der VGB (European Technical Association for Power and Heat Generation) und damit die deutschen Betreiber von Leistungsreaktoren sind zum 31. März 2016 aus dem ISOE-System ausgetreten. Die Betreiber sind trotz des Ausstiegs aus ISOE im Rahmen der jährlichen Berichterstattung an die RSK[1)] weiterhin verpflichtet, Angaben zur Exposition des Personals gemäß der ISOE-Datenauswertung vorzunehmen, so dass die Detailtiefe der von den Betreibern zur Verfügung gestellten Daten weiterhin gewährleistet ist. Allerdings hat sich im Vorläufervorhaben herausgestellt, dass die Sammlung der Expositionsdaten im Vergleich zu den Vorjahren erschwert wird, da ein Großteil der Betreiber ihre Expositionsdaten nicht mehr direkt an ISOE melden und die GRS dadurch teilweise auf andere Quellen angewiesen ist. Darüber hinaus werden für Teilbereiche die Daten durch ergänzende Anfragen bei den jeweiligen Anlagen angereichert. Die bei der Auswertung und Analyse

[1)] Reaktorsicherheitskommission

gewonnenen Ergebnisse werden für die verschiedenen Themenbereiche in Berichten dokumentiert. Die in den Abschnitten 2.2 und 2.3 ebenfalls angesprochene Zusammenarbeit mit dem Ausland wird schwerpunktmäßig durch Teilnahme an Sitzungen und Veranstaltungen des ISOE als zentrale internationale Einrichtung zum beruflichen Strahlenschutz in Kernkraftwerken wahrgenommen. Aspekte der Optimierung werden bei der Diskussion der Daten fortlaufend verfolgt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 UNTERSUCHUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN KERNTECHNISCHEN ANLAGEN

Die Daten der kerntechnischen Anlagen eines Jahres werden jeweils im Folgejahr in den kerntechnischen Anlagen erhoben. Mit dem Austritt des VGB aus ISOE werden Expositionsdaten von einem Großteil der Betreiber nicht mehr direkt an ISOE gemeldet, so dass die GRS teilweise auf andere Quellen, u. a. die Berichte der Betreiber an die RSK, angewiesen ist. Für die Anlagen der Ver- und Entsorgung werden standardisierte Datenerfassungsbögen genutzt, die im Rahmen der früheren Datenerfassungen mit diesen Anlagen abgestimmt wurden. Darüber hinaus werden ergänzende Daten und Informationen erfasst und die jährlichen Betriebsberichte der Kernkraftwerke in Betrieb und Stilllegung ausgewertet.

5. ERGEBNISSE

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

5.1 DATENERHEBUNG UND DOKUMENTATION

Die Sammlung der Daten zur Strahlenexposition für das Berichtsjahr 2017 und 2018 wurde für die Anlagen im Leistungsbetrieb, im Nachbetrieb und in der Stilllegung weitestgehend abgeschlossen. Mit der Erstellung der nach Abschnitt 2.1 vorgesehenen Jahresberichte wurde begonnen. Darüber hinaus wurde der Jahresbericht mit Übersichten über die berufliche Exposition in Anlagen der Ver- und Entsorgung für die Jahre 2016 und 2017 finalisiert. Zu beachten ist, dass die Berichte mit anlagenspezifischen Informationen der Öffentlichkeit nicht zur Verfügung stehen.

5.2 INTERNATIONALER ERFAHRUNGSAUSTAUSCH

Es erfolgte eine enge Mitarbeit in den Gremien und Arbeitsgruppen des ISOE, die die Sitzungen der ISOE Working Group on Data Analysis (WGDA, April 2018), der ISOE Working Group on Radiological Protection Aspects of Decommissioning Activities at Nuclear Power Plants (WGDECOM, September 2019) und des ISOE Management Boards (MB, Oktober 2019 - Teilnahme über WebEx) umfassten. Auf Beschluss des ISOE MB wurde die WGDA Ende 2019 offiziell aufgelöst.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für das Jahr 2020 ist die Fortführung der Arbeiten geplant. Dies umfasst insbesondere die im Vorhaben vorgesehene Datensammlung und die Fortführung der jährlichen bzw. zweijährlichen Berichterstattung zur Exposition in kerntechnischen Anlagen. Ebenso wird die Mitarbeit in den Gremien und Arbeitsgruppen des ISOE fortgesetzt, welche neben dem ISOE MB insbesondere auch die im Frühjahr 2015 gegründete ISOE-Expertengruppe WGDECOM, die sich speziell mit Fragestellungen der Stilllegung von Kernkraftwerken befasst, umfasst, um sowohl deutsche Erfahrungen in den internationalen Erfahrungsaustausch als auch umgekehrt internationale Erfahrungen in den deutschen Erfahrungsaustausch einzubringen (nächste Sitzung im Mai 2020). Darüber hinaus sind Teilnahmen am nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch geplant, wie beispielsweise das ISOE International Symposium, das im Juni 2020 in Tours, Frankreich stattfinden wird. Weiterhin wird mit der Untersuchung zum Einsatz ausländischen Fremdpersonals in kerntechnischen Anlagen begonnen.

Thema			
Machbarkeitsstudie zur mikroskaligen Modellierung von UV-Belastungen in urbanen Umgebungen für verschiedene Bevölkerungsgruppen zur Hautkrebsprävention			
Subject			
Feasibility study for micro-scale modelling of UV exposure in urban for skin cancer prevention of different population groups			
Kennzeichen 3618S72490	**Beginn** 01.09.2019	**Ende** 30.06.2020	**Fördermittel** EUR 120.666,-
Forschungs- / Auftragnehmer Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Hannover			
Projektleitung Prof. Dr. G. Seckmeyer	**Fachbetreuung BfS** C. Baldermann / WR 4	**verantwortlich für den Text** Dr. E. Weide Luiz, Prof. Dr. G. Seckmeyer	

1. ZIELSETZUNG

Das Hauptziel dieses Projektes ist es, eine Machbarkeitsstudie über die Methoden und die zu berücksichtigenden Parameter bei der Modellierung der erythemwirksamen UV-Bestrahlungsstärke in mikroskaligen Bereichen durchzuführen, um Aussagen über die UV-Bestrahlungsstärke und über deren Veränderung in Abhängigkeit von äußeren Strukturen treffen zu können. Schließlich soll gezeigt werden, wie diese Modellierung in GIS[1)]-basierte Modellierungsprogramme eingebunden werden kann.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im ersten Arbeitspaket „Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik“ wurde untersucht, ob in der wissenschaftlichen Literatur bereits Methoden beschrieben wurden, wie die UV-Bestrahlungsstärke auf horizontale Flächen in teilverschatteten Umgebungen so verarbeitet werden kann, dass eine GIS-basierte Visualisierung durchgeführt werden kann. Zu diesem Zweck sollen die wichtigsten Methoden analysiert und mögliche Schwierigkeiten bei der Einbeziehung erythemwirksamer UV-Bestrahlungsstärke in die GIS-basierte Modellierung beschrieben werden.

3. METHODIK

3.1 MESSUNGEN DER ERYTHEMWIRKSAMEN BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Messungen haben das Potential, reale Bedingungen gut zu erfassen, aber sie sind häufig nicht auf andere Orte bzw. andere atmosphärische Bedingungen übertragbar. Eine mögliche Alternative stellen Langzeitklimatologien oder satellitengestützte Ableitungen dar. Allerdings beziehen sich diese meist nur auf die Bestrahlungsstärke ohne Verschattung, d. h. es fehlt unter anderem die Richtungsinformation der einfallenden Strahlung. Diese richtungsabhängige Information ist aber notwendig, um die Bestrahlungsstärke bei einer abgeschatteten Umgebung mit ausreichender Genauigkeit abzuschätzen. Der Mangel an Richtungsinformation bringt die Notwendigkeit mit sich, zusätzlich zur Bestrahlungsstärke auch die Strahldichte (richtungsabhängig) zu modellieren oder vereinfachte Parametrisierungen zu verwenden, um mit den Schatteneffekten zurecht zu kommen. Zudem sind viele der verfügbaren Datensätze normalerweise nicht spektral aufgelöst, was weitere erhebliche Unsicherheiten bei der UV-Analyse mit sich bringt.

3.2 STRAHLUNGSTRANSFERMODELLE

Strahlungstransfermodelle sind ein weit verbreitetes Werkzeug für die Analyse der Einstrahlungsbedingungen, da sie im Prinzip für jeden Ort der Erde eingesetzt werden können und Ergebnisse mit einem begrenzten Satz von Eingabedaten erzielt werden können. Es gibt viele Modelloptionen für die UV-Abschätzung mit unterschiedlicher Genauigkeit, Komplexität und Rechenzeit (z. B. Mehrfachstreuungs-Spektralmodelle, schnelle

[1)] Geographische Informationssysteme

Spektralmodelle und empirische Modelle). Mehrfachstreumodelle weisen die beste Übereinstimmung mit UV-Index-Messungen auf, während schnelle Spektralmodelle mehr oder weniger stark von den Messungen abweichen. Empirische Modelle liefern meist nur für die Bedingungen, für die sie entwickelt wurden, gute Ergebnisse. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von Nachschlagetabellen-Modellen, die eine gute Modellierungsqualität mit vergleichsweise geringem Rechenaufwand verbinden. Diese Modelle berechnen die Bestrahlungsstärke durch Interpolationen und Extrapolationen der atmosphärischen Bedingungen auf der Grundlage früherer Berechnungen aus anderen Modellen.

3.3 GIS BASIERTE MODELLE

Es gibt einige GIS-basierte Modelle, die sich mit der Strahlungsmodellierung auf einer bestimmten Ebene befassen. Eine ihrer Haupteinschränkungen ist jedoch die Verwendung einfacherer Methoden als Kompromiss zwischen Genauigkeit und angemessener Rechenzeit. Viele Strahlungsmodelle verwenden zum Beispiel einfachere Methoden, obwohl sie auf der nicht korrekten Annahme der Isotropie (Gleichverteilung der einfallenden Strahldichte) der diffusen und der reflektierten Strahldichte basieren. Weitere Herausforderungen ergeben sich aus der korrekten Darstellung von Oberflächen und Vegetation. Die Solarenergiemodelle RADIANCE, Daysim und SOLENE gehören noch zu den besten Softwareprogrammen, mit denen eine detaillierte Simulation der Lichtanisotropie und der Spekularität (jedoch nicht der Spektralität) sowie der Inter- und Multireflexionen durchgeführt werden können. Darüber hinaus existiert das Mikroskalenmodell SkyHelios zur Berechnung mikro-meteorologischer Bedingungen in komplexen städtischen Umgebungen. Es wurde mit Laufzeit-Effizienz unter Verwendung einer 3D-Grafik-Hardware entwickelt und erlaubt die Berechnung von meteorologischen und anderen Hilfsparametern, z. B. dem Sky View Factor (SVF), einer Parametrisierung der Abschattung und der Sonnenscheindauer. Die Haupteinschränkungen des Modells liegen in der Verwendung einer vereinfachten nichtspektralen Strahlungsmodellierung und indirekter isotroper Berechnungen der reflektierten Strahlung.

4. DURCHFÜHRUNG

Für die Modellierung der erythemgewichteten UV-Bestrahlungsstärke unter teilverschatteten Bedingungen müssen zahlreiche Parameter berücksichtigt werden. Eine der Hauptmöglichkeiten für die Abschätzung real existierender Hindernisse mit ausreichender oder hoher Genauigkeit ist beispielsweise die Verwendung von All-Sky-Kameras, die bisher jedoch noch nicht mit GIS-Modellen kombiniert wurden. Eine weitere Option ist die Verwendung von synthetischen Himmelsprofilen, die auf einer künstlichen Darstellung realer Standorte basieren können. Andererseits können vertikale reflektierende Oberflächen die Komplexität des Modells beträchtlich erhöhen, da sie die UV-Bestrahlungsstärke, die eine Oberfläche erreicht, erheblich verändern können. Die reflektierte Bestrahlungsstärke hängt stark von der Gebäudegeometrie, den Materialeigenschaften und dem Sonnenstand ab. Um Mehrfachreflexionen zu modellieren, ist meist ein 3D-Modell der gebauten Umgebung erforderlich. Zu diesem Zweck wurden einige Modelle entwickelt, die jedoch sehr rechenintensiv sind. Um den Berechnungsaufwand zu reduzieren, schlugen einige Autoren vereinfachte Modelle vor, eines[1)] wurde auf eine Schulumgebung angewandt.

Darüber hinaus wurde in mehreren Untersuchungen festgestellt, dass Bäume in städtischer Umgebung die UV-Strahlung in ihrer Umgebung reduzieren. So beträgt einigen Studien zufolge die UV-Transmission von Blättern weniger als 0,1 %, unabhängig von der Art und Beschaffenheit der Blätter. Es wurden verschiedene Modelle erstellt, um die UV-Bestrahlungsstärke im Schatten der Bäume zu modellieren. Nach Heisler et al.[2)] ist die vielversprechendste Methode zur Feststellung von Unterschieden nach Arten die Verwendung fotografischer Methoden zur Schätzung der visuellen Kronendichte und die spätere Berücksichtigung von Bäumen als halbtransparente Hindernisse. Für GIS-Modelle könnten im Vorfeld Standardbäume erstellt werden.

Wolken sind der wichtigste, aber auch der am schwierigsten abzuschätzende Parameter, der die den Erdboden erreichende UV-Bestrahlungsstärke bestimmt. Grant und Heisler[3)] kamen zu dem Ergebnis, dass das Fehlen von Wolkendaten bei der Abschätzung der UV-Exposition zu einer Überschätzung von 20 % in schattigen Bereichen führte. Auch unter Baumschatten war die tatsächliche Bestrahlungsstärke bei teilweiser Be-

[1)] Downs, N.; Parisi, A.; Turner, J.; Turnbull, D. Modelling ultraviolet exposures in a school environment. Photochem. Photobiol. Sci. 2008, 7, 700–710.
[2)] Heisler, G.M.; Grant, R.H.; Gao, W. Individual- and scattered-tree influences on ultraviolet irradiance. Agric. For. Meteorol. 2003, 120, 113–126.
[3)] Grant, R.H.; Heisler, G.M. Effect of Cloud Cover on UVB Exposure Under Tree Canopies: Will Climate Change Affect UVB Exposure? Photochem. Photobiol. 2006, 82, 487.

wölkung größer, was wahrscheinlich auf Streueffekte an den Wolkenrändern zurückzuführen ist. Nach Na et al.[1] treten die Verstärkungseffekte von Wolken nur in kurzen Zeitabschnitten auf, wobei in anderen Studien auch schon gezeigt wurde, wie bestimmte meteorologische Bedingungen auch zu länger andauernden Strahlungsüberhöhungen durch Wolken führen. Eine Möglichkeit, Wolkeneffekte mit hoher Genauigkeit zu modellieren, ist die Verwendung von sehr rechenintensiven 3D-Modellen. Für mittlere Bedingungen wurden einige Methoden entwickelt, die Wolken langfristig als halbtransparente Hindernisse betrachten.

5. ERGEBNISSE

Das Hauptproblem bei der Einbeziehung der erythemgewichteten Modellierung in GIS-Modellen ist der Bedarf an spektralen Informationen. Bisher wurde in der Literatur noch keine GIS-Methode beschrieben, die diese Möglichkeit bietet. Die Echtzeitanalyse erfordert für GIS-Methoden jedoch auch schnelle Rechenmethoden, wie sie nach gegenwärtigem Stand der Technik nur mit Nachschlagetabellen-Modellen erreicht werden können. Dafür müssen Modellrechnungen der richtungsabhängigen Strahldichteverteilung des Himmels verwendet werden. Die in Schrempf et al.[2] beschriebene Methode benutzt bereits die Modellierung der richtungsabhängigen Strahldichteverteilung, ist spektral aufgelöst und verwendet eine Nachschlagetabellen-Methode. Sie hat daher das Potential eine ausreichende Genauigkeit zu erzielen und mit GIS-Methoden kombiniert werden zu können.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Es soll eine spezifischere Analyse der notwendigen Parameter für die Modellierung der Bestrahlungsstärke unter abgeschatteten und nicht abgeschatteten Verhältnissen durchgeführt werden. Zu untersuchen ist die Frage, welche Vereinfachungen der Methoden notwendig, aber auch zielführend sind. Schließlich soll die beste Methode gefunden werden, die sowohl die erforderliche Genauigkeit als auch den notwendigen Rechenaufwand berücksichtigt. Eine Berücksichtigung der Wolken bei der Erfassung der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke in teilweise verschatteten Umgebungen erfordert wahrscheinlich die Verwendung erst kürzlich entwickelter Messverfahren zur schnellen Erfassung der Himmelsstrahldichte und/oder rechenintensiver 3D-Modellierung.

TB 07

[1] Na, H.R.; Heisler, G.M.; Nowak, D.J.; Grant, R.H. Modeling of urban trees' effects on reducing human exposure to UV radiation in Seoul, Korea. Urban For. Urban Green. 2014, 13, 785–792.
[2] Schrempf, M.; Thuns, N.; Lange, K.; Seckmeyer, G. Impact of Orientation on the Vitamin D Weighted Exposure of a Human in an Urban Environment. Int. J. Environ. Res. Public Health 2017, 14, 920.

Thema Validierung des atmosphärischen Ausbreitungsmodells ARTM durch experimentelle Untersuchungen **Subject** *Validation of atmospheric dispersion model ARTM by field studies*			
Kennzeichen 3618S7259A	**Beginn** 01.05.2019	**Ende** 31.12.2021	**Fördermittel** EUR 492.083,-
Forschungs- / Auftragnehmer Konsortium: Brenk Systemplanung GmbH und Hochschule Düsseldorf (University of Applied Science)			
Projektleitung Dr. O. Nitzsche	**Fachbetreuung BfS** Dr. M. Pattantyús-Ábrahám / UR 3	**verantwortlich für den Text** Dr. O. Nitzsche, Prof. Dr. K. Weber	

1. ZIELSETZUNG

Das Langzeitausbreitungsmodell ARTM (Atmosphärisches-Radionuklid-Transport-Modell) wird zur mikro- und mesoskaligen Berechnung der atmosphärischen Dispersion im Rahmen von Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft eingesetzt. Im vorliegenden Programmpaket kann ein diagnostisches Windfeldmodell zur Berechnung von Wind- und Turbulenzfeldern im Einfluss von Gebäuden und Geländeunebenheiten vorgeschaltet werden. Die Ausbreitungsberechnung erfolgt mit einem Lagrangeschen Partikelmodell. Im Forschungsvorhaben soll das vorliegende Programmpaket durch experimentelle Untersuchungen im Feldmaßstab validiert werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Ziel der Validierung ist es, aus dem Vergleich zwischen Modellberechnungen und Immissionsmessungen im Feldmaßstab den Nachweis zu erbringen, dass das Programmpaket ARTM für die Anforderungen der Berechnung der atmosphärischen Dispersion zur Ermittlung von Expositionen durch Ableitungen radioaktiver Stoffe geeignet ist. Im vorliegenden Forschungsvorhaben soll dazu die Situation bei hohen Emissionshöhen betrachtet werden. Es ist zu prüfen, inwieweit Berechnungen und Messungen der Immissionskonzentrationen bei Ableitungen über mehrere Stunden und verschiedenen Wettersituationen übereinstimmen. Die jeweiligen Experimente sollen geeignet sein, Rückschlüsse auf Langzeitsituationen zu ermöglichen.

3. METHODIK

Die experimentelle Validierung des Programmpakets soll durch Immissionsmessungen im Feldmaßstab (horizontal im Bereich bis einige 10 km um die Emissionspunkte, vertikal vom Boden bis in ca. 2 000 m Höhe) erfolgen. Benötigt werden neben Lage und zeitlichem Verlauf der Emission die lokale Bebauungsstruktur, Geländedaten sowie Immissionskonzentrationen und meteorologische Daten.

3.1 IMMISSIONSMESSUNGEN

Als Emissionen sollen permanente Freisetzungen aus Kohlekraftwerken und/oder Freisetzungen von Tracern genutzt werden. Die Immissionsmessungen sollen bodengestützt mit einem Messfahrzeug und mehreren Messflugzeugen erfolgen.

Das Messfahrzeug und die Messflugzeuge können sowohl mit akkumulierenden Sammelsystemen als auch mit direkt anzeigenden Messsystemen ausgerüstet werden.

3.2 METEOROLOGISCHE MESSUNGEN

Notwendige meteorologische Parameter sollen vertikal aufgelöst durch den Einsatz eines SODAR[1)] gewonnen werden. Diese Daten sollen durch bodennahe Messungen mit Ultraschallanemometern (USA) an mehreren Stellen ergänzt werden. Aus den gewonnenen meteorologischen Daten des SODAR in einer ausgewählten Messhöhe werden Eingangsparameter für die Modellrechnungen im Rahmen der Validierung er-

[1)] Sound/Sonic Detecting And Ranging = Schallermittlung und -ortung

zeugt. Gleichzeitig dienen Messdaten des SODAR in weiteren Messhöhen und die Daten der USA zur Validierung der Windfeldmodellierung.

3.3 VALIDIERUNGSBERECHNUNGEN

Es wird mit den Daten zur Gebäudestruktur und zum Geländeverlauf am jeweiligen Messstandort ein ARTM-Modell erstellt. Mit den ausgewählten meteorologischen Parametern erfolgt die Windfeldberechnung. Ergebnisse dieser Berechnung werden mit weiteren meteorologischen Daten verglichen. Ggf. erfolgt die Anpassung der Windfeldberechnung im Rahmen der Möglichkeiten von ARTM. Anschließend erfolgen Ausbreitungsberechnungen unter Verwendung der ermittelten Emissionsdaten und ein Vergleich der berechneten mit den gemessenen Immissionswerten.

4. DURCHFÜHRUNG

Zur Validierung der Ausbreitungsmodelle ist eine messtechnische Nachverfolgung der SO_2-Emission durch Kraftwerke sowie die Freisetzung von spezifischen Tracern denkbar.

Zur Freisetzung des Tracers SF_6 und/oder PFC[1)] kommen neben möglichen Kraftwerksanlagen, Türme, Mastanlagen oder Hubarbeitsbühnen in Frage. Dadurch ist es möglich den Standort der Tracerausbringung hinsichtlich seiner orographischen Gegebenheiten anzupassen. Im Untersuchungsgebiet werden mit den Messflugzeugen und einem Messfahrzeug in unterschiedlichen Höhen zeitgleich die Konzentrationsdaten ermittelt. Das Untersuchungsgebiet befindet sich überwiegend im Lee der Tracerquelle und erstreckt sich über ein Gebiet hinreichender Größe. Die diese Untersuchung begleitende meteorologische Datenerfassung wird stationär im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Eine Evaluierung der erhobenen Daten schließt sich der Messkampagne an. Die validierten Daten stehen zur Überprüfung des Ausbreitungsmodells zur Verfügung.

Bisher wurden im Forschungsvorhaben der Arbeitspunkt AP 1 „Ermittlung und Zusammenstellung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik hinsichtlich der theoretischen und experimentellen Validierung von Lang- und Kurzzeitausbreitungsrechnungen sowie atmosphärischer Messtechnik“ abgeschlossen. AP 2 „Ermittlung von potentiell geeigneten Untersuchungsgebieten im Bundesgebiet sowie Durchführung von Ausbreitungsrechnungen als Grundlage für die zu erarbeitende Messstrategie – Machbarkeitsstudie“ wird bearbeitet.

5. ERGEBNISSE

Ergebnisse liegen zur Ermittlung und Zusammenstellung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik (AP 1) vor.

5.1 AUSBREITUNGSBERECHNUNG

Bei Betrachtung des derzeitigen Stands von Wissenschaft und Technik bezüglich der experimentellen Validierung von Lang- und Kurzzeitausbreitungsrechnungen zeigt sich, dass mit den geplanten Arbeiten eine Lücke in der bisherigen Forschung zur Ausbreitungsberechnung geschlossen werden kann. Insbesondere kann mit den geplanten Messungen in mehreren Messhöhen bis zu ca. 2 000 m ein bisher nicht in der Literatur zu findender Schritt bei der Validierung von Ausbreitungsmodellen erfolgen.

Aus den ausgewerteten Literaturarbeiten können Rückschlüsse für die weitere Planung und Durchführung der Experimente gezogen werden, u. a.:

- Ausbreitungen der geplanten Tracer reagieren sehr sensitiv auf Niederschläge, daher ist die Messung für niederschlagsfreie Zeiten anzustreben, ggf. muss die Niederschlagsintensität zeitaufgelöst dokumentiert werden.
- Die möglichst genaue Bestimmung / Steuerung des zeitlichen Verlaufs des Quellterms und die genaue Lokalisierung ist erforderlich.
- Modelle tentieren zur Überschätzung der berechneten Konzentration, das sollte bei der Ermittlung erforderlicher Nachweisgrenzen berücksichtigt werden.

[1)] Perfluorcarbon

5.2 IMMISSIONSMESSUNG

Die für die Erreichung des Forschungsziels vorgesehene Messtechnik zur Immissionsmessung entspricht dem Stand der Technik und kann in den geplanten Trägersystemen (Flugzeuge und Fahrzeug) zum Einsatz kommen. Für jedes der in Frage kommenden Tracergase steht geeignete Messtechnik zur Verfügung, deren Nachweisgrenze im Bereich der Hintergrundkonzentration liegt. In der Literatur werden gleiche oder ähnliche Verfahren erwähnt, wie sie hier Einsatz finden werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für den Abschluss von AP 2 wird die Grundlage in einem Arbeitsgruppentreffen des Konsortiums am 18.02.2020 gelegt. Gespräche mit potenziellen Standortbetreibern zur Unterstützung vorgesehener Feldmessungen wurden angebahnt. Im Ergebnis dieser Gespräche erfolgt die detaillierte Planung der Feldexperimente. Für die Auswahl geeigneter Standorte muss berücksichtigt werden:

- für den Validierungsansatz geeignete Umgebung
- für die geplanten Immissionsmessungen ausreichend hohe permanente Ableitung von SO_2
- Möglichkeit der Freisetzung des Tracers (Perfluorcarbon / SF_6)
- geeignete Infrastruktur für den Betrieb der meteorologischen Messstationen
- Möglichkeit der Genehmigung für den Einsatz der Messflugzeuge.

3.8 Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

3.8 Subject area 08
Non-ionising radiation

Thema			
Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell)			
Subject			
Childhood leukemia - influence of the immune system on the development of the disease (experimental study in a suitable animal model)			
Kennzeichen 3616S82440	**Beginn** 01.10.2016	**Ende** 30.09.2019	**Fördermittel** EUR 851.432,-
Forschungs- / Auftragnehmer Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München			
Projektleitung Dr. A. Bitsch	**Fachbetreuung BfS** Dr. J. A. Schmidt / WR 5	**verantwortlich für den Text** Dr. A. Bitsch, D. Sachno	

1. ZIELSETZUNG

Epidemiologische Untersuchungen weisen auf einen Zusammenhang zwischen der Exposition mit extrem niederfrequenten Magnetfeldern (ELF-MF), wie sie beispielsweise bei der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Verwendung von elektrischer Energie (Strom) auftreten, und der Entstehung von Leukämien im Kindesalter hin. Von der IARC (International Agency for Research on Cancer) wurden im Jahr 2002 ELF-MF auf Grund der epidemiologischen Ergebnisse als möglicherweise krebserregend (Klasse 2B) eingestuft. Experimentelle Beweise für diese IARC-Einstufung fehlen aber bis heute. Biophysikalisch betrachtet ist es unwahrscheinlich, dass diese energiearmen, extrem niederfrequenten magnetischen Felder stark genug sind, um direkt DNA-schädigend zu wirken, d. h. um beispielsweise B-ALL (akute lymphoblastische (B-Zell-) Leukämie) - die häufigste Leukämie im Kindesalter - unmittelbar zu verursachen.

Allerdings zeigten drei unabhängige Untersuchungen an CD1-Mäusen bzw. bei einem transgenen Mausmodell für pB-ALL, in dem die häufige Leukämie-spezifische chromosomale Translokation ETV6-RUNX1 nachgestellt wird, übereinstimmend eine verminderte Zahl an Immunzellen nach bis zu 90-tägiger ELF-MF-Exposition im Blutbild der Jungtiere. Auch wenn es bisher keinen Nachweis gibt, dass diese Veränderung beim jungen, sich entwickelnden Immunsystem ein zwingend notwendiger Schritt für die Manifestation einer B-ALL ist, sollen auf Grund dieser Hinweise im Projekt Phänotyp und Funktion von Immunzellen an einem geeigneten Mausmodell für die genannte Kinderleukämie B-ALL vergleichend mit und ohne Magnetfeldexposition untersucht werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 FESTLEGUNG DES TIERMODELLS

Die Sca1-ETV6-RUNX1-Mäuse tragen Leukämie-spezifische Veränderung im Erbgut und scheinen daher als Tiermodell besonders geeignet. Eine Zuchtkolonie des Tiermodels wurde am Fraunhofer ITEM etabliert und auf die benötigte Tierzahl expandiert (s. Programmreport 2018, http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808).

2.2 DEFINITION DER EXPOSITIONS-SZENARIEN UND UNTERSUCHUNGSZEITPUNKTE

Für die tierexperimentelle Überprüfung der epidemiologischen Hinweise auf einen möglichen Einfluss von niederfrequenten Magnetfeldern (ELF-MF) auf die Entstehung von Leukämien im Kindesalter müssen unterschiedliche elektromagnetische Feldstärken ausgewählt werden. Die ELF-MF-Exposition der Nachkommen soll nach Feststellung der Trächtigkeit, d. h. so früh wie möglich - schon im Muttertier - beginnen und nach der Geburt über verschiedene Zeiträume fortgeführt werden.

2.3 FESTLEGUNG DER IMMUNOLOGISCHEN UNTERSUCHUNGSSCHWERPUNKTE

Die Wirkung der ELF-MF Exposition auf die jungen Mäuse soll anhand von Lymphozyten aus immunologisch relevanten Organen untersucht werden. Basierend auf den Daten der vorausgehenden Studien soll dabei speziell auf die Entwicklung der T-Lymphozyten eingegangen werden.

2.4 ETABLIERUNG DER GENETISCHEN UNTERSUCHUNGEN

Eine Untersuchungsmethode zur Unterscheidung der Wurfgeschwister wurde am Fraunhofer ITEM etabliert. Hierzu wird das bei der Ohrmarkierung an Tag 21 bzw. während der Sektion an Tag 7 und 14 ausgestanzte Gewebe für die Gewinnung von genomischer DNA verwendet. Die anschließende Genotypisierung erfolgt mittels PCR.

3. METHODIK

3.1 VERSUCHSDESIGN

Drei Gruppen von je 10 weiblichen Mäusen werden nach erfolgreicher Verpaarung ab Tag 1 der Trächtigkeit in drei äußerlich nicht unterscheidbaren Anlagen (d. h. verblindetes Studiendesign) gegenüber 50 Hz ELF und Feldstärken von 0 (Scheinexposition), 10 µT (mikro-Tesla) und 1 mT (milli-Tesla) exponiert.

Die Nachkommen werden im entsprechenden ELF-Feld geboren und fortlaufend bis zu den 3 Untersuchungszeitpunkten (7, 14, 28 Tage) befeldet. Für die Ausprägung der Leukämie-spezifischen Veränderung Sca1-ETV6-RUNX1 in der zu untersuchenden F1-Generation der Mäuse besteht eine Wahrscheinlichkeit von 50 %. Demnach werden alle Nachkommen zur Untersuchung herangezogen und nach Abschluss der jeweiligen Aufarbeitungen genotypisiert. Die exakte Aufschlüsselung der Tierzahlen in den jeweiligen Behandlungsgruppen kann dem Programmreport 2018 entnommen werden.

3.2 ZEITLICHE PLANUNG

Die Verpaarung der ersten Tiere ist für KW 7 in 2020 vorgesehen, womit der tierexperimentelle Teil mit der Sektion der letzten, für 7 Tage exponierten Tiere in KW 11 2020 finalisiert wird.

3.3 IMMUNOLOGIE

Die Wirkung der prä- und postnatalen ELF-MF-Exposition an den Jungtieren soll anhand von Blut- und Immunzelluntersuchungen im Vergleich sowohl zu scheinexponierten als auch Käfig-Kontrolltieren überprüft werden. Dabei wird der Fokus auf die Charakterisierung eines möglicherweise geschwächten oder mangelhaft ausgebildeten Immunsystems gelegt. Es werden Untersuchungen zur Immunhistopathologie, Immunstatus und Immunphänotypisierung in immunologisch relevanten Organen wie Blut, Milz, Knochenmark und Thymus durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

- **Abstimmung der (tier-)experimentellen Untersuchungen**
  Das finale Versuchsdesign wurde resultierend aus einem Projekttreffen am BfS festgelegt.
- **Wiederaufbau der Expositionsanlage**
  Notwendige Soft- und Hardwareaktualisierungen der Befeldungstechnik wurden durch Mitarbeiter der Firma IMST GmbH (Kamp-Lintfort) am Fraunhofer ITEM abgeschlossen.
- **Aufbau einer Mäusezucht**
  Eine Zuchtkolonie wurde nach Lieferung von transgenen (tg) Zuchtmäusen vom Instituto de Biologia Molecular y Celular del Cancer (IBMCC), Salamanca, Spanien, und non-tg-Hybridmäusen vom The Jackson Laboratory, Bar Harbor, USA, etabliert und auf die benötigte Tierzahl expandiert.
- **Festlegung der immunologischen Untersuchungen an der Maus**
  Mit Heparinisierung und anschließendem Entbluten der Mäuse nach Dekapitation wurde die Blutentnahme auf das geringe terminale Blutvolumen der Jungtiere optimiert. Zur Immunphänotypisierung relevanter Organe wurden folgende Antikörperpanel etabliert:
  - T-Lymphozyten-Entwicklung im Thymus: CD25, CD69, CD4, CD44, TCR β, CD45R/B220, Viabilitätsfarbstoff
  - CD5, CD8, B-Lymphozyten-Entwicklung im Knochenmark: IgM, BP1, CD34, CD19, CD43, CD45R/B220, Viabilitätsfarbstoff, CD127
  - Allgemeine Immunphänotypisierung im Blut: CD3, CD335, CD28, CD19, CD8, IgM, CD45R/B220, Viabilitätsfarbstoff, CD4, I-A/I-E; T-Lymphozyten Subsets in der Milz: IgM, CD69, CD4, CD19, CD8, CD44, CD45R/B220, CD62L, CD3.

5. ERGEBNISSE

97 % des tierexperimentellen Studienabschnittes sind abgeschlossen - 934 von 960 geplanten Tieren sind seziert. Die detaillierte Aufschlüsselung der sezierten Tiere kann Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Anzahl sezierter Tiere

Untersuchungszeitpunkt (Tage pp)	Anzahl sezierter Jungtiere		Gruppe
	männlich (ist/soll)	weiblich (ist/soll)	
7	43/40	32/40	1
	34/40	33/40	2
	30/40	44/40	3
	42/40	42/40	4
14	38/40	39/40	1
	40/40	41/40	2
	42/40	39/40	3
	40/40	40/40	4
28	40/40	39/40	1
	40/40	40/40	2
	34/40	40/40	3
	40/40	42/40	4
Gesamtzahl	**463/480**	**471/480**	
	934/960		

Für die Gesamtzahl der 934 Tiere wurden die in Punkt 4 beschrieben Marker am Durchflusszytometer in Einzelzellsuspensionen von Milz, Thymus, Knochenmark sowie im Blut untersucht. Weiterhin wurden für alle beschriebenen Tiere Blutausstriche angefertigt und Proben des Blutplasmas bei -80° C präserviert. Einzelzellsuspensionen der Milz wurden für alle Tiere mit entsprechenden Stimulantien über einen Zeitraum von 48 Stunden behandelt und die Medium-Überstände sowie das Lysat der behandelten Zellen bei -80° C präserviert. 60 von 80 geplanten Chips (10 Tiere je Gruppe) wurden für die Untersuchung mittels Chipzytometrie mit Thymozyten 7 Tage alter Tiere beladen und bei 4° C präserviert. Zusätzlich wurden 2 Gefäße mit jeweils etwa 3 Millionen Zellen des Knochenmarks sowie 3 Gefäße mit jeweils etwa 5 Millionen Zellen des Thymus aller Mäuse bei -80° C präserviert. Die Genotypisierung aller in 2019 sezierten 28-Tage-exponierten Tiere sowie von 174 14-Tage-exponierten Tieren wurde erfolgreich durchgeführt. Von 302 sezierten 28-Tage-exponierten Tieren konnten 142 Tiere (47 %) als transgen und 159 Tiere (53 %) als Wildtyp identifiziert werden. Von den 174 genotypisierten 14-Tage-exponierten Tieren wurden 72 Tiere (41 %) als transgen und 102 Tiere (59 %) als Wildtyp identifiziert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Auswertung der gemessenen Durchflusszytometrie-Daten sowie die Genotypisierung der restlichen Tiere wird finalisiert. Dabei wird die Auswertung der Durchflusszytometrie-Daten vollständig verblindet und unabhängig vom Genotyp der Tiere ausgewertet. Nach Auswertung der Daten werden die Genotypen den einzelnen Messwerten zugeordnet. Auf Grundlage der ermittelten Daten werden anschließend die zu untersuchenden Marker für Blutplasma sowie für die Überstände und Lysate der stimulierten Einzelzellsuspensionen der Milz festgelegt. Zusätzlich erfolgt basierend auf den Ergebnissen der Durchflusszytometrie die Entwicklung eines Chipzytometrie-Messpanels für die präservierten Thymozyten. Darüber hinaus erfolgt eine umfassende immunhistologische Untersuchung relevanter Organe der transgenen Tiere sowie eine verblindete Auswertung der Blutausstriche aller Tiere.

Thema Erfassung der Magnetfeldexposition der allgemeinen Bevölkerung **Subject** *Evaluation of the magnetic field exposure of the general population*			
Kennzeichen 3616S82442	**Beginn** 01.03.2018	**Ende** 30.09.2020	**Fördermittel** EUR 867.290,-
Forschungs- / Auftragnehmer IMST GmbH, Kamp-Lintfort (Projektleitung); EM-Institut GmbH, Regensburg; Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft- Küsten- und Naturschutz, Hildesheim; LMU Institut für Statistik, München; USUMA GmbH Institut für Marktforschung und Sozialforschung, Berlin; Deutscher Verein der Blinden und Sehbehinderten in Studium und Beruf e.V. (DVBS), Marburg			
Projektleitung D. Krebs	**Fachbetreuung BfS** D. Geschwentner / WR 5	**verantwortlich für den Text** D. Krebs	

1. ZIELSETZUNG

Dieses Forschungsvorhaben will die Informationslage zur Exposition der Bevölkerung gegenüber technischen Magnetfeldern aktualisieren sowie einige neue Aspekte erstmals beleuchten, wie zum Beispiel die Exposition gegenüber magnetischen Gleichfeldern sowie die Exposition gegenüber Magnetfeldern im Frequenzbereich bis 100 kHz. Die Feldermittlung soll hierbei durch Messungen erfolgen, wobei so weit wie möglich die individuelle Exposition über längere Zeiträume mittels Personendosimeter bestimmt werden soll.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Im Rahmen der ersten Projektphase soll zunächst der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet der Langzeiterfassung statischer bzw. niederfrequenter Magnetfeld-Expositionen dokumentiert und geeignete Messmittel für den Einsatz im Feld identifiziert werden.

2.2 BESTIMMUNG DER EXPOSITION IM HÄUSLICHEN BEREICH

Zur Exposition im häuslichen Bereich tragen sowohl die Elektrizitätsnutzung im eigenen Haushalt als auch Quellen bei, deren Magnetfelder von außen auf den häuslichen Bereich einwirken. Die typische Exposition im häuslichen Bereich soll mit einer Stichprobe von 24 h-Messungen ermittelt werden.

2.3 BESTIMMUNG DER HINTERGRUNDEXPOSITION IM HÄUSLICHEN BEREICH

Die Hintergrundexposition im häuslichen Bereich soll bestimmt werden. Es ist die Exposition, die die Bevölkerung im eigenen Haushalt erfährt, wenn im Haushalt keine Elektrizität genutzt wird.

2.4 BESTIMMUNG DER ALLTÄGLICHEN EXPOSITION

Die alltägliche Exposition setzt sich zusammen aus der Exposition, die die Bevölkerung im häuslichen Bereich erfährt und der Exposition, die die Bevölkerung außerhalb des häuslichen Bereichs erfährt.

2.5 BESTIMMUNG DER EXPOSITIONSBEITRÄGE VON ANLAGEN DER ÖFFENTLICHEN ELEKTRIZITÄTSVERSORGUNG

Im Rahmen dieses Arbeitspakets soll mittels Messungen die Exposition von Personen, die im Einwirkungsbereich von Anlagen der öffentlichen Elektrizitätsversorgung wohnen, untersucht werden. Bestimmt werden sollen die Beiträge zur Exposition im häuslichen Bereich (siehe Unterabschnitt 2.3) und zur alltäglichen Exposition (siehe Unterabschnitt 2.4). Ziel ist der Vergleich dieser Daten mit denen des Teils der Allgemeinbevölkerung, der nicht im Einwirkungsbereich von Anlagen der öffentlichen Elektrizitätsversorgung wohnt.

2.6 BESTIMMUNG DER EXPOSITIONSBEITRÄGE VON BAHNSTROMANLAGEN

Es sind die Expositionsbeiträge zu bestimmen, die durch Bahnstromanlagen verursacht werden, und zwar für Gesamtbevölkerung und für Personen, die im Einwirkungsbereich der Anlagen wohnen. Dazu gehören elektrifizierte Bahnstrecken, dazugehörige Energieversorgungsleitungen und Nebenanlagen, die mit einer Frequenz von 16,7 Hz betrieben werden. Unterschieden werden sollen wiederum die Beiträge zur alltäglichen und zur häuslichen Exposition.

3. METHODIK

3.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Der relevante Stand von Wissenschaft und Technik wurde auf Grundlage einer Literaturrecherche bestimmt. Mittels einer Marktrecherche wurden grundsätzlich geeignete Messmittel vorausgewählt.

3.2 AUSWAHL UND ERPROBUNG EINES GEEIGNETEN MESSGERÄTES

Die Qualifizierung und Erprobung des ausgewählten Personendosimeters erfolgte unter Laborbedingungen sowie unter realitätsnahen Bedingungen mit ausgesuchten Probanden im Feld. Für die eigentliche Datenerhebung werden diese Dosimeter an die Probanden gegeben und die Ergebnisse statistisch ausgewertet.

3.3 BESTIMMUNG DER EXPOSITION IM HÄUSLICHEN BEREICH

Die typische Exposition im häuslichen Bereich soll mit einer Stichprobe von 24 h-Messungen an 1 000 Probanden ermittelt werden. Die Probandenrekrutierung erfolgt über eine Telefonstichprobe. Die Rekrutierung von Teilnehmern wird in ausgewählten Bundesländern (Bayern, Berlin, Nordrhein-Westfalen und Thüringen) durchgeführt.

Die Extraktion der Daten, die den häuslichen Bereich betreffen, geschieht mittels des von den Probanden selbst geführten Tagesjournals und der Zeitstempel der Dosimeterdaten.

3.4 BESTIMMUNG DER HINTERGRUNDEXPOSITION IM HÄUSLICHEN BEREICH

Diese Hintergrundexposition soll bei 100 zufällig extrahierten Probanden aus der in 3.3 untersuchten Gruppe bestimmt werden.

Die Bestimmung der 16,7 Hz Hintergrundexposition erfolgt durch Extraktion aus den Dosimeterdaten (s. 3.2).

Für die Bestimmung der 50 Hz-Exposition ist geplant, Vergleichsmessungen mit möglichst vielen abgeschalteten Verbrauchern bzw. im unmittelbaren Wohnumfeld der Probanden vorzunehmen.

3.5 BESTIMMUNG DER ALLTÄGLICHEN EXPOSITION

Da bei den 24 h-Messungen in 3.3 erwartet werden kann, dass sich die überwiegende Mehrzahl der Probanden nicht über den gesamten Erfassungszeitraum im häuslichen Bereich aufhalten werden, kann ein Großteil der 24 h-Messergebnisse aus 3.3 ebenso für die Auswertung von 3.5 verwendet werden.

3.6 BESTIMMUNG DER EXPOSITIONSBEITRÄGE VON ANLAGEN DER ÖFFENTLICHEN ELEKTRIZITÄTSVERSORGUNG UND VON BAHNSTROMANLAGEN

Hier sind Messungen mit je 100 Probanden vorgesehen, die im Einflussbereich der öffentlichen Elektrizitätsversorgung oder im Einflussbereich von Bahnstromanlagen wohnen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Das zugehörige Arbeitspaket ist abgeschlossen und der Bericht durch die Auftraggeberin abgenommen.

4.2 DATENERHEBUNG FÜR DIE EINZELZIELE 2.2 BIS 2.6

Die Datenerhebung mittels Dosimeter hat in drei Bundesländern begonnen.

5. ERGEBNISSE

Bislang sind folgende Interviews geführt und Datensätze erhoben worden (fehlerhafte Datensätze sind abgezogen):

- Bayern: 43
- Berlin: 47
- NRW: 5
- Thüringen: 0

Es befinden sich 20 Dosimeter im Einsatz.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeiten zu 2.2 werden fortgesetzt, bis die geplante Probandenzahl (ca. 1100) erreicht ist. Als erstes werden die Daten zum Bundesland Berlin vervollständigt und statistisch aufbereitet.

Thema			
Bewertende Literaturstudie zum Auftreten, zur Ausbreitung und zu gesundheitlichen Auswirkungen von ionisierten Schadstoffpartikeln in der Umgebung von Starkstromleitungen			
Subject			
Study and evaluation of literature on occurrence, spread and health effects of ionised pollutant particles in the vicinity of power lines			
Kennzeichen 3618S82453	**Beginn** 01.07.2019	**Ende** 30.09.2020	**Fördermittel** EUR 75.001,-
Forschungs- / Auftragnehmer Leibnitz-Institut für Troposphärenforschung Leipzig e.V.			
Projektleitung Dr. U. Winkler	**Fachbetreuung BfS** Dr. J. Kuhne / WR 5	**verantwortlich für den Text** Dr. U. Winkler	

1. ZIELSETZUNG

Hochspannungsleitungen können sogenannte Korona-Ionen emittieren. Diese breiten sich zum einen selbst in gewissem Maße im Umfeld der Leitungen aus, zum anderen lagern sie sich an in der Luft befindlichen Partikeln an und übertragen ihre Ladung auf diese. Das Thema möglicher biologischer und gesundheitlicher Wirkungen von Ionen oder geladenen Partikeln wurde in der Literatur teil kontrovers diskutiert, für Wechselspannungsleitungen sind nachteilige Wirkungen jedoch unwahrscheinlich. Die Risikobewertung im Umfeld von Hochspannungsleitungen im Blick auf den geplanten Einsatz der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungstechnik (HGÜ) in Deutschland ist allerdings nicht abschließend geklärt; auf Grund der physikalischen Wirkweise wird hier unter ungünstigen Bedingungen mit höheren Konzentrationen von Ionen und geladenen Partikeln gerechnet als im Umfeld der bestehenden Wechselspannungsleitungen. Ziel des Forschungsvorhabens ist, den aktuellen Kenntnisstand zur Exposition der Allgemeinbevölkerung gegenüber Ionen und geladenen Partikeln im Wirkbereich von Hochspannungsleitungen sowie zu möglicherweise daraus folgenden gesundheitsrelevanten Wirkungen zusammenzufassen und zu bewerten. Hierzu wird zu den jeweiligen Themenschwerpunkten eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. Aus den Literaturstellen werden die bisher bekannten Daten zur Exposition extrahiert und zusammengefasst. Diese werden anschließend im Kontext bekannter, möglicherweise relevanter Wirkmechanismen (z. B. der Ladungszustandsabhängigkeit der Aerosoldeposition in der Lunge) diskutiert und bewertet. Relevante Kenntnislücken im Wissensstand werden identifiziert.

Das Vorhaben dient zur Verbesserung der Risikobewertung und zur Information der Bevölkerung.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Aufgabe ist in mehrere Arbeitspakete gegliedert. Das erste und umfangreichste Paket besteht in der Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik. Diese Analyse bildet die Basis für die unten beschriebenen Schwerpunkte. Das abschließende Paket besteht in der Identifikation des Bedarfs an zukünftigen Forschungen.

2.1 IONEN UND GELADENE PARTIKEL: MESSWERTE UND THEORETISCHE ERWARTUNGEN

Die in der Literaturrecherche ermittelten Messungen der Konzentrationen von Ionen und geladenen Teilchen im Umfeld von Hochspannungsleitungen sollen mit ebenfalls zu recherchierenden theoretischen Modellen und Erwartungen verglichen werden. Ziel ist eine belastbare quantitative Abschätzung der Exposition der Bevölkerung mit Ionen und geladenen Schadstoffpartikeln im Umfeld von Hochspannungsleitungen. Diese Exposition soll zudem kontrastiert werden: zum einen mit typischen Hintergrundwerten, zum anderen mit der Exposition nahe anderer anthropogener oder natürlicher Ionenquellen.

2.2 GESUNDHEITLICHE WIRKUNGEN GELADENER PARTIKEL

Ein Fokus liegt auf der Deposition geladener Partikel in Lunge und Atemtrakt. Zu diesem Thema existieren mehrere Studien mit Freiwilligen oder mit Tieren (in vivo), an physischen Modellen (in vitro), sowie Computermodellstudien und theoretische Arbeiten. Ziel der Analyse sind quantitative Aussagen zur Erhöhung der De-

positionswahrscheinlichkeit durch Ladung. Eine zusammenfassende Bewertung soll jedoch auch andere, nicht auf Lungendeposition beruhende, mögliche Wirkmechanismen geladener Partikel berücksichtigen.

3. METHODIK

Die zentrale Methodik ist die Literaturrecherche. Sofern sich dabei entsprechende Ansätze ergeben, sollen jedoch auch Modellrechnungen erfolgen, etwa zum Vergleich von Messwerten mit theoretischen Erwartungen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 LITERATURRECHERCHE

Der Auftragnehmer, das Leibniz-Institut für Troposphärenforschung Leipzig e. V., besitzt via die Universitätsbibliothek Leipzig umfassenden Zugriff auf das Recherchewerkzeug *Web of Science*, (Clarivate Analytics, http://apps.webofknowledge.com) sowie auf die meisten für dieses Projekt relevanten Fachzeitschriften.

4.2 MODELLRECHNUNGEN

Aus den Ergebnissen der Literaturauswertung wird sich ergeben, in welchem Umfang und mittels welcher Werkzeuge Modellrechnungen durchgeführt werden.

5. ERGEBNISSE

5.1 RELEVANTE LITERATUR

Es wurden bislang etwa 300 Referenzen als für das Thema relevant eingestuft, davon etwa 250 Originalarbeiten (der Rest entfällt auf Reviews, Fachbücher, offizielle Reports etc.). Darunter sind je etwa 20 Messstudien im Umfeld von Gleich- sowie von Wechselspannungsleitungen, und etwa 20 experimentelle Studien zur Lungendeposition geladener Partikel (durchgeführt mit Freiwilligen, Tieren oder an physischen Lungenmodellen). Die Themenfelder der übrigen Arbeiten erstrecken sich von der Theorie der Anlagerung von Ionen an Partikel über Beschreibungen eingesetzter Messverfahren bis hin zu Messungen in den verschiedensten Umgebungen (urban, rural, Straßenverkehr etc.). Im medizinischen Bereich finden sich theoretische und experimentelle Studien zum Einfluss der Partikelladung (welche u. a. in Inhalatoren entsteht) auf die Effizienz der Medikamenten-Verabreichung bzw. auf die Nutzung von Ladung, um Medikamente gezielt in bestimmte Bereiche des Atemtrakts einzubringen. Zudem existieren auch umfassende epidemiologische Studien zur Häufigkeit besonders von Kinderleukämie im Umfeld von Hochspannungsleitungen.

5.2 RISIKOBEWERTUNG

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ergibt sich aus der Literatur folgendes Gesamtbild:

- Die Wahrscheinlichkeit der Deposition neutraler Partikel in Lunge oder Atemtrakt, in Abhängigkeit von der Partikelgröße, wird durch das sogenannte ICRP-Modell beschrieben. In wieweit die Partikelladung einen signifikanten Zusatzeffekt erzeugen kann ist nicht Bestandteil des ICRP-Modells. Der Zusatzeffekt hängt von der Anzahl der Überschussladungen ab, welche das Partikel trägt, sowie von weiteren Partikeleigenschaften, beispielsweise dem Durchmesser.
- Die Anzahl Ladungen, welche ein Partikel im Kontakt mit einer Ionenwolke aufnehmen kann (bzw. die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Mindest-Ladungszahl erreicht wird), hängt von der Partikelgröße ab (je größer, desto höher). Ein weiterer relevanter Parameter ist die Unipolarität der Ionenwolke, welcher die Partikel ausgesetzt sind (der Unipolaritätskoeffizient ergibt sich aus dem Verhältnis der Konzentration positiver und negativer Ionen).
- Im Umfeld von Hochspannungsleitungen können stark einseitig polarisierte Ionenwolken entstehen. Wie hoch die Emissionsrate positiver und negativer Ionen an Hochspannungsleitungen tatsächlich ist und welche Polarität dominiert, hängt von zahlreichen Parametern ab und ist damit praktisch kaum vorhersagbar. An Wechselstromleitungen wird überwiegend, aber nicht ausschließlich, ein Überschuss an positiven Ionen beobachtet.
- Stark einseitig polarisierte Ionenwolken werden durch die innewohnenden elektrostatischen Kräfte ausei-

nandergetrieben. Damit ergeben sich hinsichtlich der erreichbaren Ionenkonzentrationen, in Abhängigkeit vom Abstand zur Leitung, theoretische obere Grenzwerte. In größerer Entfernung von den Leitungen, und bei nicht zu niedriger Winkelgeschwindigkeit, sind diese Grenzwerte unabhängig von den genauen Parametern der Stromleitungen. Damit lassen sich obere Grenzwerte für die erreichbaren Partikel-Ladungszahlen und damit die maximal möglichen Zusatzeffekte auf die Depositionswahrscheinlichkeit in Lunge und Atemwegen ableiten.

Zum gegenwärtigen Stand scheinen die vorliegenden Messergebnisse durchaus mit diesen theoretischen Grenzwerten in Übereinstimmung zu stehen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die weitere Arbeit wird sich auf folgende Punkte konzentrieren:

- Fortsetzung der Evaluierung medizinischer Studien mit dem Ziel, belastbare Grenzwerte für den Einfluss der Partikelladung auf die Depositionswahrscheinlichkeit in Lunge und Atemwegen zu gewinnen
- Fortsetzung der Analyse relevanter Messungen im Umfeld von Hochspannungsleitungen und Vergleich mit theoretischen Erwartungen; zudem Vergleich mit Werten, welche in anderem Umfeld gemessen wurden, etwa in der Nähe von Straßen oder technischen Anlagen, im urbanen oder ruralen Hintergrund im Allgemeinen, oder auch an natürlichen Ionenquellen wie zum Beispiel Wasserfällen
- darauf aufbauend Abschätzung der im Umfeld von Hochspannungsleitungen erreichbaren Zusatzeffekte auf die Depositionswahrscheinlichkeit
- Evaluierung von in der Literatur vorgeschlagenen biologischen und gesundheitlichen Wirkungen geladener Partikel, welche nicht auf der Deposition in Lunge und Atemwegen beruhen.

Thema			
Bewertende Literaturstudie zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf oxidative Prozesse bei Menschen sowie in Tier- und Laborstudien			
Subject			
Assessed literature study on the influence of electric, magnetic and electromagnetic fields on oxidative processed in humans as well as in animal and laboratory studies			
Kennzeichen 3619S82464	**Beginn** 01.09.2019	**Ende** 31.08.2020	**Fördermittel** EUR 63.887,-
Forschungs- / Auftragnehmer Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München			
Projektleitung D. Sachno	**Fachbetreuung BfS** B. Henschenmacher / WR 5	**verantwortlich für den Text** D. Sachno	

1. ZIELSETZUNG

In vielen wissenschaftlichen Studien wird die Erhöhung der Konzentration freier Radikale als Resultat einer Exposition durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (EMF) postuliert. Obwohl Sauerstoffmoleküle für das Überleben vieler Organismen unentbehrlich sind, können sie durch unterschiedliche Stoffwechselvorgänge zu gefährlichen Nebenprodukten führen, die als reaktive Sauerstoffspezies (ROS) bezeichnet werden. Diese reaktiven Sauerstoffspezies können zelluläre Komponenten wie Proteine, Lipide und DNA schädigen. Allerdings ist das Ausmaß der beobachteten Effekte oft nur sehr gering. Insgesamt ist die Datenlage zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf die Entstehung von oxidativem Stress sehr inkonsistent. Dafür gibt es mehrere Gründe. Zum einen unterscheiden sich die Studien teilweise deutlich im Versuchsaufbau und den Expositionsbedingungen. Es gibt Unterschiede im verwendeten Zelltyp, der Intensität der Felder, der Expositionsdauer oder dem Zeitpunkt der ROS-Messung. Zum anderen unterscheiden sich die Studien, u. a. mit Hinblick auf mitgeführte Kontrollen oder eine verblindete Auswertung, auch qualitativ voneinander. Um eine fundierte Bewertung des Einflusses elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf oxidative Prozesse geben zu können, muss die Literatur systematisch bewertet, zusammengefasst und aufgearbeitet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ERSTELLUNG EINES REVIEW-PROTOKOLLS

Nach den Richtlinien des „Centre for Reviews and Dissemination“ wird ein Review-Protokoll erstellt, wodurch Rahmenbedingungen für die Studie wie Einschlusskriterien, Suchstrategie, Vorgehen bei der Selektion einzuschließender Studien und Extraktion der Daten sowie das Vorgehen für die Beurteilung der Studien festgelegt werden. Um eine bestmögliche Vermeidung von Verzerrungen gewährleisten zu können, erfolgt an dieser Stelle eine PROSPERO-Online-Registrierung der systematischen Literaturstudie.

2.2 ERSTELLUNG DES SYSTEMATISCHEN REVIEWS

Im Anschluss an die Genehmigung des Review-Protokolls erfolgt die Literatursuche, -auswahl und -aufarbeitung der Daten, unter Beachtung der Richtlinien des „Centre for Reviews and Dissemination“, als systematisches Review. Zusätzlich erfolgt die Erstellung eines umfassenden Abschlussberichts mit detaillierter Beschreibung der Studienbewertung (Risk of Bias) und dem Aufzeigen von Lücken im derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand mit einer Empfehlung für zukünftige Forschungsschwerpunkte.

3. METHODIK

3.1 DEFINITION EINER PRÄZISEN FORSCHUNGSFRAGE

Eine präzise Forschungsfrage, die durch den gesamten Review-Prozess führt, sowie die damit zusammenhängenden Einschlusskriterien werden anhand des PECO (Populatien, Exposure, Comparision, Outcome)-Verfahrens definiert.

3.2 SUCHSTRATEGIE

Zur exakten Definition der Suchstrategie erfolgt die Festlegung der zu durchsuchenden Datenbanken, der entsprechenden Suchbegriffe und die Modalitäten der einzelnen Suchbegriffe (z. B. MESH[1)]-Term, Verbindung der Suchbegriffe durch AND/OR etc.). Zusätzlich werden weitere Einschlusskriterien wie Sprache, Erscheinungsdatum, Art der Studie etc. definiert.

3.3 SELEKTION UND BEWERTUNG EINZUSCHLIEßENDER STUDIEN

Alle relevanten Artikel, identifiziert nach der zuvor festgelegten Forschungsfrage und Suchbegriffen, werden bei Erfüllung der Einschlusskriterien in die Studie aufgenommen. Die interne Validität und die Qualität der eingeschlossenen Studien wird anschließend mit einem vom „Office of Health Assessment and Translation“ veröffentlichten Protokoll überprüft. Dabei werden beispielsweise Kriterien wie Verblindung, Qualität der Dosimetrie sowie Vergleichbarkeit der experimentellen Konditionen zwischen den Dosisgruppen betrachtet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 SELEKTION EINZUSCHLIEßENDER STUDIEN

Die zuvor festgelegten Datenbanken PubMed, Scopus, Web of Science und EMF-Portal werden anhand der entwickelten Suchstrategie nach potenziell relevanten Artikeln durchsucht. Identifizierte Artikel werden systematisch in der Reference Management Software „Endnote X8” strukturiert und in zwei Schritten auf ihre Eignung geprüft. In der ersten Phase der Bewertung werden zunächst die Titel und Zusammenfassungen der identifizierten Artikel von zwei Bearbeitern unabhängig anhand der Einschlusskriterien evaluiert. In der zweiten Phase wird der vollständige Text für die Abstracts, die die Einschlusskriterien erfüllen, abgerufen und von zwei Bearbeitern unabhängig überprüft. Anschließend erfolgt eine gemeinsame Entscheidung über den Einschluss der Studien.

4.2 EXTRAKTION DER DATEN

Für die Extraktion der Daten wird vorab ein präzises Extraktionsprotokoll erstellt. Extrahierte Daten enthalten beispielsweise bibliographische Daten, Details zu der exponierten Spezies (d. h. Mensch, Tier oder in vitro), Anzahl der untersuchten Probanden, Tiere oder Zellkulturplatten und Angaben zur Exposition (z. B. Häufigkeit der Befeldung, Feldstärke und Expositionsdauer). Die genauen Endpunkte und Resultate werden ebenfalls extrahiert. Gegebenenfalls werden zusätzlich Anmerkungen zu bestimmten Merkmalen (z. B. Hintergrund der Studie) und besondere Einschränkungen einzelner Studien gemacht. Die Extraktion wird von zwei Bearbeitern unabhängig voneinander durchgeführt und im Anschluss diskutiert.

4.3 BEURTEILUNG DER STUDIEN

Die interne Validität und die Qualität der eingeschlossenen Studien wird mit einem vom „Office of Health Assessment and Translation“ veröffentlichten Protokoll überprüft. Dabei werden Kriterien wie beispielsweise Verblindung, Qualität der Dosimetrie sowie Vergleichbarkeit der experimentellen Konditionen zwischen den Dosisgruppen betrachtet. Zwei Autoren werden unabhängig voneinander diese Kriterien für alle eingeschlossenen Studien wie folgt evaluieren:

- "++" definitiv geringes Verzerrungsrisiko
- "+" wahrscheinlich geringes Verzerrungsrisiko
- “-“ wahrscheinlich hohes Voreingenommenheitsrisiko
- "--" definitiv hohes Voreingenommenheitsrisiko.

[1)] Medical Subject Headings

5. ERGEBNISSE

Das Review-Protokoll wurde erfolgreich finalisiert. Nach der im Review-Protokoll definierten Suchstrategie konnten bisher 3 379 Artikel identifiziert werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Literatursuche wird in allen Datenbanken aktualisiert und um Artikel aus grauer Literatur ergänzt. Es erfolgt die Selektion der einzuschließenden Studien nach Punkt 4.1. Referenzlisten relevanter Artikel werden nach weiteren, bisher nicht berücksichtigten Artikeln durchsucht – ggf. erfolgt eine Ergänzung der bereits identifizierten Artikel. Daten werden nach 4.2 extrahiert und nach 4.3 bewertet. Anschließend werden die Ergebnisse in Form eines systematischen Reviews zur Publikation zusammengefasst – an dieser Stelle erfolgt eine erneute Aktualisierung der Literatursuche in den jeweiligen Datenbanken.

Zusätzlich erfolgt die Erstellung eines umfassenden Abschlussberichts mit detaillierter Beschreibung der Studienbewertung (Risk of Bias) und dem Aufzeigen von Lücken im derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand mit einer Empfehlung für zukünftige Forschungsschwerpunkte.

Thema			
Detaillierte vergleichende Analyse der Alters- und Geschlechtsabhängigkeit des Einflusses hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit			
Subject			
Detailed comparative analysis of age and sex related effects of radiofrequency electromangnetic fields from mobile telephony devices on brain activity, sleep and cognitive performance			
Kennzeichen 3619S82465	**Beginn** 01.08.2019	**Ende** 30.11.2020	**Fördermittel** EUR 103.444,-
Forschungs- / Auftragnehmer Kompetenzzentrum Schlafmedizin, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Berlin			
Projektleitung Prof. Dr. H. Danker-Hopfe	**Fachbetreuung BfS** PD Dr. B. Pophof / WR 5	**verantwortlich für den Text** Prof. Dr. H. Danker-Hopfe, Dr. T. Eggert	

1. ZIELSETZUNG

Der Einfluss elektromagnetischer Felder, ausgehend von Endgeräten nach dem GSM, UMTS und TETRA-Standard, wurde bisher im Auftrag des BfS in insgesamt vier experimentellen Laborstudien an Probanden untersucht:

- Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen (M8808)

  Diese Studie wurde im Rahmen des DMF[1)] (2003 - 2007) an gesunden jungen Männern (18 - 30 Jahre) mit GSM und UMTS bei jeweils 2 W/kg durchgeführt.
  http://www.emf-forschungsprogramm.de/home/forschung/biologie/biologie_abges/bio_080.html
- Probandenstudie zur Untersuchung des Einflusses der für TETRA genutzten Signalcharakteristik auf kognitive Funktionen (FM8846)

  Die von der BDBOS[2)] finanzierte Studie (2009 - 2013) wurde ebenfalls an gesunden jungen Männern bei TETRA 1,5 W/kg und TETRA 6 W/kg durchgeführt.
  https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/ergebnisse/tetra/studie-kognitive-funktionen.html
- Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivtät, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Frauen (3614S30012)
  Untersucht wurden Frauen im Alter von 60 - 80 Jahren bei GSM 2 W/kg und TETRA 6 W/kg (2014 - 2016). http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019013117414
- Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer (3616S82430)
  Untersucht wurden Männer im Alter von 60 - 80 Jahren bei GSM 2 W/kg und TETRA 6 W/kg (2016 - 2019). http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019101519604

Ziel dieses Forschungsprojekts ist es zu prüfen, ob sich der Einfluss dieser hochfrequenten elektromagnetischen Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit bei älteren Männern und Frauen sowie im Vergleich älterer und jüngerer Männer unterscheidet. Die gesundheitliche Relevanz der Ergebnisse ist im Sinne des Strahlenschutzes zu bewerten. Die Ergebnisse der Studie werden den Strahlenschutz der Gesamtbevölkerung verbessern und werden zur Überprüfung der Gültigkeit der Grenzwerte dienen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Insgesamt erlauben die vorliegenden Studien die folgenden Vergleiche:

- junge Männer vs. ältere Männer bei GSM 2 W/kg (Studie 1. und 4.)

---

1) Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm
2) Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben

- junge Männer vs. ältere Männer bei TETRA 6 W/kg (Studie 2. und 4.)
- ältere Frauen vs. ältere Männer bei GSM 2 W/kg (Studie 3. und 4.)
- ältere Frauen vs. ältere Männer bei TETRA 6 W/kg (Studie 3. und 4.)

Diese Vergleiche sollen für die Makrostruktur des Schlafes, die Powerspektralwerte des Schlaf-EEGs[1)], die Powerspektralwerte des Wach-EEGs sowie für einige Ergebnisparameter der am Tage durchgeführten psychologischen Experimente und kognitiven Tests erfolgen.

2.1 MAKROSTRUKTUR DES SCHLAFES

Es sollen insgesamt 30 Ergebnisparameter mit geeigneten statistischen Methoden vergleichend analysiert werden.

2.2 POWERSPEKTRALWERTE DES SCHLAF- UND WACH-EEGS

Es soll eine vergleichende statistische Auswertung von Powerspektralwerten nach Spektrallinien und nach Frequenzbändern mit geeigneten Methoden erfolgen.

2.3 KOGNITIVE LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Alle Ergebnisparameter zur kognitiven Leistungsfähigkeit, bei denen in mindestens einer der 4 durchgeführten Studien ein Expositionseffekt festgestellt werden konnte, sollen mit geeigneten statistischen Methoden vergleichend analysiert werden.

3. METHODIK

Bevor die statistische Auswertung vorgenommen werden kann, muss zunächst eine Vergleichbarkeit der Daten hergestellt werden. Dafür ist eine Reihe von Neuauswertungen der bereits vorliegenden Daten sowie eine erneute Bestimmung der zu analysierenden Ergebnisparameter notwendig. Als statistisches Testverfahren soll dann eine Varianzanalyse mit Messwiederholung zum Einsatz kommen. Dabei handelt es sich um ein gängiges Analyseverfahren für abhängige Stichproben, welches dementsprechend häufig Anwendung bei der Auswertung von Cross-over-Studien findet. Da in allen vier Forschungsprojekten drei unterschiedliche Expositionssignale untersucht wurden und jede*r Proband*in diese Versuchsbedingungen dreimal in unterschiedlicher, zufällig zugeordneter Reihenfolge durchlaufen musste, sollen robuste Mittelwerte für die jeweils drei Untersuchungstage bzw. -nächte mit gleicher Exposition die Basis für die statistische Analyse von Expositionseffekten darstellen. Im statistischen Modell sollen dann der messwiederholte Faktor „Exposition“ sowie je nach Fragestellung entweder das Geschlecht oder das Alter als weiterer Faktor berücksichtigt werden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 NEUAUSWERTUNG VON DATEN

Die notwendigen Maßnahmen für die Neuauswertung der Daten umfassen die Anwendungen gleicher Verfahren zur Korrektur von Augenartefakten für das Wach-EEG sowie für alle ereigniskorrelierten Potentiale, die Berücksichtigung der Bettzeit bei den Ergebnisparametern zur Makrostruktur des Schlafes sowie bei den Powerspektralwerten des Schlaf-EEGs, die Anwendungen eines einheitlichen 50 Hz Sperrfilters für alle EEG-Aufzeichnungen und eine Neuauswertung einiger Tagestestungen unter dem Aspekt einer einheitlichen Durchführung (s. u.).

4.2 MAKROSTRUKTUR DES SCHLAFES

Die Variablen zur Schlaf-Makrostruktur von den jungen Probanden müssen mit einer vereinheitlichen Bettzeit von 7,5 Stunden neu berechnet werden, um eine Vergleichbarkeit herzustellen (bei jungen Probanden betrug die Bettzeit 8 Stunden, bei den Älteren jedoch nur 7,5 Stunden). Ausgewertet werden sollen insgesamt 2 Parameter der Makrostruktur, je zwei Parameter zu Aufwachereignissen und der Anzahl der Stadienwechsel in der Nacht sowie sechs Arousal-Parameter.

[1)] Elektroenzephalogramm

4.3 POWERSPEKTRALWERTE

Das Vorgehen bei den EEG-Aufzeichnungen wurde im Zuge der vier Studien stetig weiterentwickelt. Unter anderem musste in den späteren Studien auf Grund z. T. deutlicher Störungen durch das Stromnetz ein 50 Hz-Sperrfilter eingeführt werden, welches in den früheren Studien noch nicht notwendig war. Diese Störungen haben zwar keine Bedeutung für die EEG-Spektren, aber sie beeinflussen die Artefaktbehandlung. Weiterhin wurden in den neueren Studien verbesserte Algorithmen zur Artefakterkennung erprobt. Um hier einheitliche Bedingungen zu schaffen, ist es erforderlich, die quantitative Auswertung des Schlaf- und des Wach-EEGs für einen Teil der Studien unter Berücksichtigung dieser methodischen Änderungen neu durchzuführen.

4.3.1 Schlaf-EEG

Bei der erneuten Berechnung der Powerspektralwerte des Schlaf-EEGs bei den jüngeren Probanden muss zusätzlich auf die verkürzte Bettzeit geachtet werden. Aus der quantitativen EEG-Auswertung resultieren Powerspektralwerte auf der Basis von einzelnen Spektrallinien, die zusätzlich eine Einteilung des Schlaf-EEGs in fünf vordefinierte Frequenzbänder erlauben. Vor der statistischen Analyse sollten die Powerspektralwerte aber noch logarithmisch transformiert werden, da diese in der Regel starke Abweichungen von einer Normalverteilung aufweisen.

4.3.2 Wach-EEG

Augenbewegungen, die starke Störungen im EEG verursachen, führten auf Grund der Amplitudenkriterien, die in allen Studien benutzt wurden, zum Ausschluss der betroffenen EEG-Segmente. Eine Möglichkeit, die Anzahl der ausgeschlossenen Segmente zu reduzieren, ist eine vorherige Korrektur dieser Artefakte im EEG. Für eine korrekte Arbeitsweise muss diese Korrektur der Augenartefakte allerdings anhand von Aufzeichnungen, die überwiegend Augenbewegungen und Lidschläge enthalten, kalibriert werden. Die Vorgehensweise dazu ist für die Studien bestmöglich zu vereinheitlichen und muss bei der erneuten Berechnung der Powerspektralwerte des Wach-EEGs zusätzlich Berücksichtigung finden. Wie beim Schlaf-EEG resultieren aus der quantitativen EEG-Auswertung Powerspektralwerte auf der Basis von einzelnen Spektrallinien, die zusätzlich eine Einteilung des Wach-EEGs in sechs vordefinierte Frequenzbänder erlauben. Auch hier soll vor der statistischen Auswertung eine logarithmische Transformation der Daten erfolgen.

4.4 KOGNITIVE LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Wie beim Wach-EEG muss auch für alle anderen EEG-basierten Ergebnisparameter aus den psychophysiologischen Experimenten eine vereinheitlichte Augenartefaktkorrektur erfolgen. Da sich im Laufe der Zeit auch die Methode zur Bestimmung der ereigniskorrelierten Potentiale geändert hatte, sind diese Berechnungen ebenfalls zu vereinheitlichen. Bei einigen der kognitiven Aufgaben wurde die Testdurchführung dem Alter der Testpersonen entsprechend angepasst, weswegen einzelne Ergebnisparamter für die Untersuchung von Altersunterschieden neu auszuwerten sind, um die Vergleichbarkeit sicherzustellen. Dies betrifft z. B. die Anzahl von Versuchsdurchgängen bzw. eine einheitliche Testdauer.

5. ERGEBNISSE

5.1 MAKROSTRUKTUR DES SCHLAFES

Die Ergebnisse der Geschlechts- und altersabhängigen Analysen von Expositionseffekten auf Variablen zur Schlaf-Makrostruktur liegen vor. Expositionseffekte sind bei älteren Frauen ausgeprägter als bei älteren Männern, während sich Expositionseffekte bei jüngeren und älteren Männern nicht wesentlich unterscheiden.

5.2 AUGENARTEFAKTKORREKTUR

Die für die Augenartefaktkorrektur erforderliche Anzahl von Segmenten mit Augenbewegungen und Lidschlägen liegt nun für alle vier Studien vor. Für die Tagesaufzeichnungen, bei denen keine Kalibrierungsabschnitte aufgezeichnet wurden, sind die entsprechenden Segmente manuell identifiziert worden. Die Koeffizienten für die Augenartefaktkorrektur wurden berechnet, manuell bereinigt und die Korrektur ausgeführt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im nächsten Schritt müssen die einzelnen Testabschnitte aus den artefaktkorrigierten Tagesaufzeichnungen ausgeschnitten und die ereigniskorrelierten Potentiale neu bestimmt werden. Die erneute quantitative Auswertung der EEG-Daten (Wach und Schlaf) unter Berücksichtigung einheitlicher Parameter ist gegenwärtig in Bearbeitung. Eine Neuauswertung der Leistungsparameter aus den kognitiven Tests unter Berücksichtigung der altersbedingten Anpassungen bei der Testdurchführung steht noch aus.

3.9 Themenbereich 09
Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm / Stromnetzausbau

3.9 Subject area 09
German Mobile Telecommunication Research Programme / national grid expansion

Thema Untersuchung der Möglichkeiten einer Fortbildung von Multiplikatoren in lokalen Behörden (Gesundheitsämter, Amtsärzte und Immissionsschutzämter) für die Risikokommunikation beim Stromnetzausbau **Subject** *Analysis of the possibilities of an advanced training for multipliers in local authorities (public health departments, public health officers and immission control offices) for risk communication during the expansion of the electricity grid.*			
Kennzeichen 3619S92412	**Beginn** 01.09.2019	**Ende** 31.05.2021	**Fördermittel** EUR 105.654,-
Forschungs- / Auftragnehmer adelphi research gemeinnützige GmbH, Berlin			
Projektleitung T. Viertel	**Fachbetreuung BfS** C. Egblomassé / WR 5	**verantwortlich für den Text** N. Nitsche, T. Viertel, G. Becker	

1. ZIELSETZUNG

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens ist es, Inhalte und nicht-digitale Fortbildungsformate für sogenannte „Wissensvermittler*innen“ zu entwickeln, an die sich besorgte Bürger*innen zum Thema der potenziellen Auswirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern (EMF), ausgehend von Stromleitungen, wenden können.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben gliedert sich in vier Arbeitspakete (AP). Zum jetzigen Stand ist AP 1 abgeschlossen. Dieses setzt sich aus drei Aufgaben zusammen. Aufgabenstellung der 1. Aufgabe war die Identifikation von Kriterien und Rahmenbedingungen sowie von Treibern und Hemmnissen für die Akzeptanz und Nutzung von Fortbildungsangeboten bei den jeweiligen Zielgruppen. In Aufgabe 2 galt es für vom Netzausbau betroffene Bundesländer sogenannte Bildungsstrukturanalysen zu erstellen. Im Rahmen von Aufgabe 3 wurden aus den Ergebnissen der Aufgaben 1 und 2 strategische Empfehlungen für die Zielgruppenansprache entwickelt und ein Zwischenbericht für das BfS angefertigt.

3. METHODIK

Für AP 1 wurden folgende Methoden angewandt:

- **Literaturrecherche**
  Analyse und Auswertung der bestehenden Literatur zu den Bildungs- und Fortbildungsstrukturen in verschiedenen Bundesländern in den Bereichen Gesundheit, Bildung und Verwaltung.
- **Desktop-Recherche**
  Die Literaturrecherche wird durch eine Desktop-Recherche, d. h. durch die Prüfung und Klassifikation der Online-Angebote und Informationen relevanter Institutionen, ergänzt.
- **Expert*innen-Interviews**
  Interviews mit Expert*innen aus den Bereichen Gesundheit, Bildung und Verwaltung sowie themenübergreifender Institutionen der Bildung und Politikberatung.
- **Telefon-Recherche**
  Anruf und Kurzinterviews mit Wissensvermittler*innen/Vertreter*innen relevanter zielgruppenspezifischer Institutionen der Fort- und Weiterbildung.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 LITERATUR- UND DESKTOPRECHERCHE

In einem ersten Schritt wurde eine Literaturanalyse und Desktoprecherche zur Identifikation des aktuellen Standes der Wissenschaft durchgeführt. Die Literaturanalyse diente der Erarbeitung folgender Inhalte:

- Identifikation von Glaubwürdigkeitsfaktoren für unterschiedliche Akteursgruppen und Wissensvermittler*innen.
- Fort- und Weiterbildungsstrukturen von Lehrer*innen in den Bundesländern.
- Fort- und Weiterbildungsstrukturen von Ärzt*innen in den Bundesländern.
- Identifikation von Multiplikator*innen und kommunalen Fort- und Weiterbildungsinstitutionen für Behörden und Kommunen.

4.2 ERSTELLUNG VON BILDUNGSSTRUKTURANALYSEN

Literaturanalysen und Desktoprecherche bildeten die Grundlage für die Auswahl der zu interviewenden Expert*innen. Im Rahmen der Interviews haben die Expert*innen Empfehlungen für die Ansprache zielgruppenrelevanter Akteur*innen und Institutionen gegeben. In Summe wurden ca. 40 informelle Gespräche mit Institutionen-Vertreter*innen aus den Bereichen Schule, Medizin und Kommunen aus unterschiedlichen Bundesländern geführt. Der informelle Charakter war bei vielen Akteur*innen Voraussetzung für den Zugang zu Mensch und Institution. Der Begriff des „Interviews“ in Telefon- oder E-Mail-Anfrage hat bei vielen Vertreter*innen reflexhafte Reaktionen der Abwehr bzw. der Rückversicherung hervorgerufen, so dass in Einzelfällen eine zeitintensive Abstimmung/Freigabe mit Vertreter*innen der verantwortlichen Ministerien erfolgen musste. Neben den informellen Gesprächen wurden 11 „offizielle“ längere Interviews von bis zu 45 Minuten mit Expert*innen durchgeführt.

Die oben skizzierte Recherche bildete die Grundlage für die Erstellung von Bildungsstrukturanalysen für die vom Netzausbau betroffenen Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Thüringen. Die Bildungsstrukturanalysen bildeten die Strukturen und zentralen Institutionen der Fort- und Weiterbildung für die Zielgruppen der Lehrer*innen und Mediziner*innen. Für die Bundesländer Sachsen, Berlin, Bremen, Hamburg und Saarland wurde auf Grund der geringen Betroffenheit vom Netzausbau auf die Erstellung von Bildungsstrukturanalysen verzichtet.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERGEBNISSE DER LITERATURRECHERCHE

Vertreter*innen politischer Institutionen, die in der Öffentlichkeit als Unterstützer des Netzausbaus wahrgenommen werden, eignen sich nicht oder nur bedingt als glaubwürdige Wissensvermittler*innen zum Themenkomplex EMF. Bei dem konfliktträchtigen Thema des Netzausbaus ist es wesentlich, dass die Vermittler*innen von Fachwissen als unabhängig wahrgenommen werden. Auf Basis der Erkenntnisse des Vorgängerprojektes, Expert*inneninterviews und der Literaturrecherche wurden Ärzt*innen und Lehrer*innen als unabhängige und glaubwürdige gesellschaftliche Gruppen mit unmittelbarem Zugang zu Bürger*innen identifiziert. Bei Ängsten und Fragen besorgter Bürger*innen zu potenziellen gesundheitlichen Risiken von EMF sind Ärzt*innen wichtige und häufig erste Ansprechpartner*innen. Lehrer*innen können auf Nachfrage oder aus eigenem Impuls in vom Netzausbau betroffenen Regionen das Thema EMF in den Unterricht integrieren und somit ebenfalls zur Klärung offender Fragen und Abbau von Unsicherheiten bei Schüler*innen und Eltern beitragen. Neben diesen bürgernahen glaubwürdigen potenziellen Wissensvermittler*innen sind auch Bürgerämter und kommunale Vertreter*innen häufig erste Adressaten für Anfragen und somit ebenfalls wichtige Multiplikator*innen und Wissensvermittler*innen.

5.2 ERGEBNISSE DER BILDUNGSSTRUKTURANALYSEN

Aus der Erstellung der in 4.2. beschriebenen Bildungsstrukturanalysen für Ärzt*innen und Lehrer*innen lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

für die Fort- und Weiterbildungsstrukturen von Ärzt*innen:

- Bundes- und Landesärztekammern als zentrale Akteure

- Synchronizität der Fort- und Weiterbildungsstrukturen zwischen den Bundesländern
- hoher Grad der Vernetzung zwischen den Ärztekammern
- Fachverbände als weitere wichtige Multiplikatoren
- Fort- und Weiterbildungen müssen CME[1)]-relevant sein, d. h. sie müssen als Maßnahmen zur ärztlichen Fortbildung von den Ärztekammern anerkannt sein.

Daraus resultieren folgende priorisierte Empfehlungen für die Entwicklung von Fort- und Weiterbildungsfomaten für Ärzt*innen im laufenden Projekt:

- Online-Formate und audiovisuelle Medien: als Selbststudium-Format unter Nutzung von audiovisuellen Medien und Online-Angeboten ohne/mit Lernerfolgskontrolle
- Präsenzformate: Vortrag mit Diskussion
- Blended Learning-Formate: Verzahnung von tutoriell unterstützten Online-Lernmodulen und Präsensveranstaltungen.

für die Fort- und Weiterbildungsstrukturen von Lehrer*innen:

- hohe Diversität in Bezug auf Institutionen, Strukturen und „Kulturen“ der Fort- und Weiterbildung von Lehrer*innen
- hohe Asynchronizität der Fort- und Weiterbildungsstrukturen in den Bundesländern
- relativ gute Vernetzung bei Online-Formaten und Lehrmaterialien über die Bildungsserver der Bundesländer.

Daraus resultieren folgende priorisierte Empfehlungen für die Entwicklung von Fort- und Weiterbildungsformaten für Lehrer*innen bzw. Multiplikator*innen im laufenden Projekt:

- Unterrichtsmaterialen: Lehrmaterialien als vergleichsweise schnell produzierbare und von Lehrer*innen gerne genutzte Formate
- Online-Formate: eLearning-Formate als Selbstlernkurse
- Präsenzformate: Vortragsformat; Vorstellung und Anwendung von Lehrmaterialien; Diskussion.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Nach Abschluss des AP 1 erfolgt die „Rekrutierung von Wissensvermittler*innen“ (AP 2) sowie zeitgleich die „Entwicklung von Fortbildungskonzepten“ (AP 3). Nach Beendigung des AP 3 folgt der Test der Fortbildungsunterlagen mit Zielgruppenvertreter*innen.

[1)] Continuing Medical Education

Thema Nutzung von Mobiltelefonen und Verlauf der Gliom-Inzidenz seit 1979 **Subject** *The use of mobile phones and the development of glioma incidence since 1979*			
Kennzeichen FM 8867	**Beginn** 01.08.2018	**Ende** 31.12.2019	**Fördermittel** EUR 138.820,-
Forschungs- / Auftragnehmer International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, Frankreich			
Projektleitung Dr. Joachim Schüz	**Fachbetreuung BfS** Dr. F. Heinzl / WR 3, Dr. K. Fuks / WR 3	**verantwortlich für den Text** Dr. M. Foerster, Dr. I. Deltour, Dr. J. Schüz	

1. ZIELSETZUNG

Hochfrequente elektromagnetische Felder wurden 2011 durch die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) als „möglicherweise krebserregend für den Menschen“ eingestuft. Die Studienlage zu diesem Thema ist nach wie vor nicht eindeutig.

Die damalige Einschätzung beruhte insbesondere auf den Ergebnissen der Interphone-Studie, einer 2010 publizierten internationalen Fallkontrollstudie zum Hirntumorrisiko in Bezug auf die Mobiltelefonnutzung. Die Studie fand ein leicht erhöhtes Hirntumorrisiko in der höchsten Nutzungskategorie. Zudem war dieses Ergebnis deutlicher unter den so genannten „unilateralen“ Nutzern, denjenigen, welche beim Telefonieren das Mobiltelefon auf der gleichen Seite ihrer Tumorlokalisation hielten (INTERPHONE, 2010). Des Weiteren wurden in einer Reihe schwedischer Fallkontrollstudien bei ähnlicher Fragestellung stark erhöhte Risikoschätzer gefunden.

Seit der IARC Einschätzung von 2011 wurde in der französischen CERENAT-Fallkontrollstudie ein erhöhtes Risiko für Meningiome in der höchsten Nutzungsgruppe festgestellt. Dieser Zusammenhang konnte wiederum in zwei weitaus größeren Kohortenstudien, der britischen „UK Million Women Study“ und einer dänischen Studie zu diesem Thema, nicht bestätigt werden. Alle gelisteten Studien weisen allerdings methodische Schwächen auf (z. B. retrospektive und subjektive Erfassung der eigenen Mobiltelefonnutzung).

Zuletzt fanden zwei jüngst veröffentlichte Langzeitexpositionsstudien an Ratten in der jeweils höchsten Nutzungskategorie vermehrt Herzschwannome sowie maligne Hirntumore bei Ratten. Die Ergebnisse der Studien waren jedoch inkonsistent über unterschiedliche Expositionsbedingungen hinweg und die Höhe der RF-EMF-Exposition unrealistisch für normale Nutzungsbedingungen beim Menschen.

Ein tatsächlicher schädigender Effekt von Mobiltelefonnutzung, der zu einem Anstieg des Hirntumorrisikos führen würde, sollte gleichermaßen auf Grund der häufigen Nutzung dieser Technologie in der Bevölkerung zu einem erkennbaren Anstieg der Inzidenzrate in der Bevölkerung führen. Dieser Hypothese folgend konnte in einer 2012 publizierten Analyse von Deltour et al. auf Basis der Krebsregisterdaten der nordischen Länder allerdings kein Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Inzidenzkurven von Hirntumoren für den Zeitraum von 1979 bis 2008 gefunden werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die weiterhin nicht eindeutige Studienlage und die hohe Public-Health-Relevanz auf Grund der flächendeckenden Verbreitung von Mobiletelefonen macht eine Neuevaluation der Hirntumorinzidenzraten dringend erforderlich. Dem statistischen Ansatz von Deltour et al. folgend sollen nun die Inzidenzraten in den nordischen Ländern Dänemark, Schweden, Norwegen und Finnland von 1979 bis zum heutigen Zeitpunkt neu evaluiert werden, insbesondere auch im Hinblick auf eventuelle Änderungspunkte in den zeitlichen Trends.

In einer Simulationsstudie werden verschiedene in Fallkontroll- und Kohortenstudien beobachtete Risikoschätzer auf ihre Plausibilität überprüft. Hierbei werden im Hinblick auf Hirntumoren (Gliome) mögliche und in früheren Analysen nicht berücksichtigte Szenarien simuliert, beispielsweise Latenzzeiten von über 15 Jahren und niedrigere Risikoschätzer als in der Literatur vorgefunden. Zudem werden unterschiedliche Gliomtypen lateralitätsspezifisch untersucht.

3. METHODIK

3.1 BESCHAFFUNG DER BENÖTIGTEN DATEN

Die Hirntumorinzidenzraten für unterschiedliche Typen von Gliomen und Tumorlokalisationen für den Zeitraum von 1979 bis heute werden – soweit möglich – aus den Krebsregistern der Länder Dänemark, Finnland, Norwegen und Schweden extrahiert. Relevante demographische Daten (z. B. Geschlecht, Alter) werden von den nationalen Bevölkerungsregistern zur Verfügung gestellt.

Trends in der Bevölkerungsexposition, was Änderungen im typischen Nutzungsverhalten angeht, werden aus den objektiven Mobiltelefonnutzungsdaten der COSMOS[1)]-Studie auf die Gesamtpopulation extrapoliert. COSMOS ist eine europaweite prospektive Kohorte (mit IARC Beteiligung) zu diesem Thema, welche zur Expositionserfassung die offiziellen Nutzungsdaten der Netzwerkbetreiber nutzt und damit ein objektives Maß der tatsächlichen Nutzung liefert. COSMOS wird u. a. in Dänemark, Finnland und Schweden durchgeführt, die auch Daten zu den Inzidenzraten zur Verfügung stellen.

Zur Berechnung der Exposition wird zunächst die durchschnittliche Exposition pro Nutzungskategorie (hoch, mittel, niedrig) aus den COSMOS-Daten berechnet und die Populationsgrößen der Nutzerkategorien (inklusive nicht-Nutzer) bestimmt. Zuletzt werden die objektiven Durchschnittswerte pro Nutzerkategorie auf die Populationsgrößen in der Gesamtbevölkerung umgerechnet.

3.2 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Schritt 1: Berechnung der altersstandardisierten Inzidenzraten für jedes Kalenderjahr inklusive der Analyse der zeitlichen Trends und Lokalisation möglicher Änderungspunkte (d. h. Zeitpunkte, an welchen sich der Trend in den Inzidenzraten im Bezug auf die vorherigen Jahre signifikant verändert), für Gliome insgesamt und für die häufigsten Subtypen.

Schritt 2: Vorhersage der Anzahl der jährlich erwarteten Gliom-Fälle unter der Annahme unterschiedlicher Risikoszenarien in Simulationsstudien. Die Risikoszenarien beruhen auf der Annahme unterschiedlicher Risikoschätzer (prozentualer Anstieg der Inzidenz) für unterschiedliche Expositionskategorien gemessen an der Anrufzeit. Die Risikoschätzer basieren in erster Linie auf in relevanten Studien (z. B. Interphone, Hardell-Studien, Kohortenstudien) ermittelten Werten. Zusätzlich werden auch Szenarien mit konservativeren Risikoschätzern evaluiert. Die Expositionsverteilung (Verteilung der durchschnittlichen Anrufdauer in der Bevölkerung) wird hierbei anhand der objektiven Mobiltelefonnutzungsdaten der COSMOS-Studie auf die Gesamtbevölkerung extrapoliert.

Schritt 3: Die so ermittelten Inzidenztrends der Simulationsstudie werden mit den wahren, in der nationalen Bevölkerung beobachteten Inzidenzraten verglichen, um die Plausibilität der beobachteten Risikoschätzer zu evaluieren. Diese Plausibilität wird durch eine Wahrscheinlichkeit angegeben, die besagt, wie wahrscheinlich es unter Annahme des jeweiligen Risikomodells ist, den beobachteten Inzidenzverlauf zu erhalten. Eine hohe Wahrscheinlichkeit weist auf Kompatibilität zwischen den Risikoschätzern und dem Inzidenzverlauf hin, eine Wahrscheinlichkeit nahe 0 % würde darauf hinweisen, dass die in den Studien ermittelten Risikoschätzer nicht mit den beobachteten Raten kompatibel sind.

4. DURCHFÜHRUNG

Nachdem im ersten Arbeitspaket (AP 1) die erforderlichen Genehmigungen für den Datenzugriff eingeholt wurden, wurde in AP 2 der Datenbestand für die Analysen aufgebaut und aufbereitet. Die Umsetzung der EU-Datenschutz-Grundverordnung war deutlich komplexer als geplant und hat zu erheblichen Verzögerungen im Projekt geführt, da die Krebsregister die Inzidenzdaten nicht im vorher abgesprochenen Format liefern durften. Das IARC musste eine Datenmanagement-Syntax entwickeln, welche die Inzidenz-Daten in aggregierter, tabellarischer Form darstellt und somit auch einen Datentransfer in Tabellenform statt in Einzeldaten ermöglicht. AP 2 konnte daher erst verspätet abgeschlossen werden.

Die Hirntumorinzidenzdaten Dänemarks wurden in Tabellenform für den Zeitraum 1990-2016 der IARC zur Verfügung gestellt. Von Finnland wurden die anonymisierten Einzeldaten für alle vorgesehenen Endpunkte für die Zeitspanne 1990-2006 und für die Zeitspanne 2006-2017 an die IARC übermittelt. Die entsprechenden schwedischen Einzeldaten liegen der IARC seit September 2019 vor. Die norwegischen Inzidenzdaten wurden der IARC am in Tabellenform geliefert. Die umfangreichen Plausibilitätskontrollen der Daten mit entspre-

[1)] Cohort Study of Mobile Phone Use and Health

chenden Rückfragen und Checks der Originaldaten sind inzwischen abgeschlossen. Mit den Daten aus dem Vorgängerprojekt liegen damit Inzidenzdaten für den Zeitraum 1979-2016 vor. Die Daten wurden in einen gemeinsamen Datenbestand zusammengeführt.

Die COSMOS-Daten werden jeweils in den an COSMOS beteiligten Ländern Finnland, Schweden und Dänemark gehalten (Norwegen war nicht Teil der COSMOS-Studie).

5. ERGEBNISSE

Das Projekt hätte planmäßig am 31.12.2019 abgeschlossen werden sollen. Da die Umsetzung der EU-Datenschutzgrundverordnung zu erheblichen Verzögerungen geführt hat, liegen allerdings noch keine Ergebnisse vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Auswertung der Daten gemäß der unter 3.2 beschriebenen Methoden wird durch die IARC federführend in Person von Dr. Isabelle Deltour durchgeführt.

4. 2019 begonnene Forschungsvorhaben, zu denen noch keine Ergebnisse vorliegen

4. Research projects initiated in 2019 of which results are not available yet

THEMENBEREICH 02 / STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Thema

Bestimmung von Strahlenschutzszenarien als Voraussetzung für eine nachhaltige Gewährleistung des Strahlenschutzes beim Umgang mit Ultrakurzpuls-Lasern (UKP-Laser) u. a. zur Unterstützung eines einheitlichen Vollzugs

Subject

Determination of radiation protection scenarios as a prerequisite for a sustainable guarantee of radiation protection when using ultra-short pulse lasers (UKP lasers), inter alia to support uniform enforcement

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3619S22370	01.09.2019	31.08.2021	EUR 251.211,-

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

Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text
Dr. J. Krüger	M. Baier / MB 6	Dr. J. Krüger

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Bei der Materialbearbeitung mit ultrakurzen Laserpulsen kann in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussgrößen ionisierende Strahlung entstehen, die unter bestimmten Voraussetzungen eine effektive Dosis von 1 mSv/a in einem strahlenschutzrelevanten Bereich deutlich überschreiten kann. Um die in der Lasermaterialbearbeitung unerwünscht entstehende ionisierende Strahlung im Strahlenschutz angemessen berücksichtigen zu können, ist die genaue Kenntnis des radiologischen Gefährdungspotentials der verschiedenen Bauarten von Ultrakurzpuls-Lasersystemen unter Berücksichtigung der unterschiedlichsten Betriebsszenarien erforderlich, um damit bei der Beurteilung des radiologischen Gefährdungspotentials auf eine wissenschaftlich fundierte Datengrundlage zurückgreifen zu können.

Diese Datengrundlage soll in dem Forschungsvorhaben erarbeitet werden. Dabei ist es zunächst notwendig, den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik bzgl. des Auftretens ionisierender Strahlung beim Betrieb von UKP-Lasern verschiedenster Bauarten zu ermitteln. Im nächsten Schritt sollen konservative und realistische Szenarien beim Betrieb von UKP-Lasern erarbeitet werden, wobei sowohl Arbeitsabläufe beim Routinebetrieb als auch mögliche Unfallszenarien zu berücksichtigen sind. Abschließend sollen auf dieser Basis Berechnungen der Expositionen $H_p(10)$ und $H_p(0{,}07)$ für die erarbeiteten Umgangsszenarien erfolgen.

THEMENBEREICH 04 / MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Thema

Verlängerung der Nachbeobachtungszeit in der REQUITE-Studie zu Nebenwirkungen und Biomarkern für Strahlenempfindlichkeit bei Strahlentherapiepatienten

Subject

Extension of the follow-up in the REQUITE study on side effects and biomarkers for radiation sensitivity in radiotherapy patients

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3619S42261	01.09.2019	31.08.2022	EUR 360.122,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Deutsches Krebsforschungszentrum, Abt. Epidemiologie von Krebserkrankungen, Heidelberg

Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text
Dr. P. Seibold, Prof. Dr. J. Chang-Claude	Dr. M. Gomolka / WR 1	Dr. P. Seibold, Prof. Dr. J. Chang-Claude

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Internationale Kooperationen sind notwendig, um große Patientenkohorten mit standardisierter Datenerhebung aufzubauen, z. B. zur Erfassung von Langzeitnebenwirkungen nach einer Krebsbestrahlung. Das vom Deutschen Krebsforschungszentrum geleitete Projekt baut auf der prospektiven multizentrischen Patientenkohorte auf, die im Rahmen des fünfjährigen REQUITE-Projekts etabliert wurde (www.requite.eu). Hierfür wurden zwischen 2014 und 2017 in acht Ländern über 4 400 Brust-, Prostata- und Lungenkrebspatient*innen vor Bestrahlung rekrutiert und standardisiert epidemiologische, klinische, dosimetrische und Nebenwirkungsdaten zu verschiedenen Zeitpunkten erhoben sowie eine Biobank aufgebaut. Bis Ende der EU-Projektförderung im Jahr 2018 erreichten die Patient*innen mindestens den 2-Jahres-Untersuchungszeitpunkt.

Radiotherapie-bedingte Nebenwirkungen können auch Jahre nach der Bestrahlung aufgetreten. Deshalb ist eine Nachbeobachtungszeit über zwei Jahre hinaus für klinische Fragestellungen wichtig. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, ist außerdem eine ausreichend hohe Fallzahl notwendig.

Ein Teil der Kohorte wird über eine anderweitige Förderung bereits weitererfasst. Die Verlängerung der Nachbeobachtungszeit der restlichen prospektiven Patientenkohorte in Europa und den USA (ca. 2 000 rekrutierte Patient*innen) auf mindestens 5 Jahre nach Bestrahlung ermöglicht eine vergleichbare Nachbeobachtungsdauer der gesamten Kohorte, die mit ihren „*Real World*“-Daten eine wertvolle Ressource im Bereich Strahlenepidemiologie darstellen wird. Außerdem wird an ausgewählten Kliniken in Deutschland eine zweite PAXgene-Blutprobe gesammelt, um eine zukünftige Vergleichsanalyse der Genexpression vor und nach Bestrahlung zu ermöglichen.

Thema			
Bestimmung von Mindestanforderungen an Bildqualität und Dosis in der Brusttomosynthese			
Subject			
Determination of minimum requirements for image quality and dose in breast tomosynthesis			
Kennzeichen 3619S42363	**Beginn** 01.10.2019	**Ende** 30.09.2021	**Fördermittel** EUR 279.799,-
Forschungs- / Auftragnehmer Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Klinische Radiologie, Münster			
Projektleitung Dipl.-Ing. H. Lenzen	**Fachbetreuung BfS** Dr. H. de las Heras Gala / MB 3	**verantwortlich für den Text** Dipl.-Ing. H. Lenzen	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Ziel des Projektes ist die Entwicklung multipler Qualitätssicherungskonzepte zur Bestimmung der Bildqualität an Tomosynthesegeräten unterschiedlicher Hersteller. Ein besonderes Augenmerk soll hierbei auf den Einsatz von modellbasierten Beobachtungen gelegt werden, um evtl. aufwendige und subjektive visuelle Auswertungen zu reduzieren. Weiter soll die ermittelte Bildqualität entweder direkt oder durch physikalische Surrogatparameter in Relation zur Strahlenexposition gesetzt werden (Dosiseffizienz). Als Maß für die Strahlenexposition wird hierbei eine standardisierte Messung der mittleren Parenchymdosis verwendet.

In diesem Rahmen sollen zwei Konzepte für jeweils zwei unterschiedliche Untersuchungsprotokolle zunächst theoretisch anhand von aktueller Literatur erarbeitet und anschließend die praktische Umsetzbarkeit für verschiedene Gerätehersteller und DBT[1)]-Typen erprobt werden.

Im ersten Arbeitspaket erfolgt die Ermittlung des Sachstands anhand von Literaturrecherchen sowie der Gegenüberstellung von Normen, Messvorschriften und Richtlinien. Weiter erfolgt ein Vergleich von auf dem Markt verfügbaren Prüfkörpern für DBT-Systeme.

Aufbauend auf Arbeitspaket 1 werden die beiden entwickelten Konzepte und Protokolle in der Praxis an verschiedenen DBT-Herstellern erprobt und getestet.

Im letzten Schritt sollen auf Basis dieser Auswertungen Mindestanforderungen für die Bildqualität im Kontext zur Strahlenexposition bestimmt werden.

[1)] Digital breast tomosynthesis

THEMENBEREICH 05 / RADIOÖKOLOGIE

Thema

Modellierung von Hydrodynamik und Stofftransport bei wassergebundenen Transportprozessen im Strahlenschutz unter Berücksichtigung der Freigabe schwach radioaktiver Stoffe

Subject

Modelling of hydrodynamics and mass transport in water-bound transport processes in radiation protection under consideration of the release of low-level radioactive substances

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3618E03510	01.09.2019	31.08.2020	EUR 227.512,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Universität Stuttgart, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung

Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text
apl. Prof. B. Flemisch	Dr. R. Merk / UR 6	R. Winter

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Die hydrodynamische Modellierung wird vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) eingesetzt, um wassergebundene Transportprozesse von Radionukliden in verschiedenen porösen Medien zu erforschen und zu beschreiben. Dies ist unter anderem in der Freigabe von geringfügig radioaktiv kontaminiertem Material auf Oberflächendeponien relevant. Dabei handelt es sich oft um Bauschutt. Hier wird der Transport auf dem Wasserpfad von der Deponie über die ungesättigte Zone bis zu einem Grundwasserleiter untersucht. Dabei wird vor allem die Einlösung von Radionukliden in Wasser (z. B. Regen-, Sicker- oder Grundwasser) und dessen Transport modelliert.

Forschungsbedarf ergibt sich in Hinsicht auf die Übertragbarkeit der bisher verwendeten Ansätze, die Aspekte vereinfachen oder vernachlässigen. Bedingt durch die Heterogenität der Größenklassen im porösen Material könnten Effekte eine Rolle spielen, die künftig in der radioökologischen Modellierung wassergebundener Transportprozesse nicht vernachlässigt werden sollten.

Ein weiteres Aufgabengebiet ist die Einbeziehung von extremen Wettereignissen. Vor allem Starkregen und mögliche damit zusammenhängende Phänomene, wie zum Beispiel die Überschwemmung der Deponie, sollen untersucht werden.

Um dies zu realisieren nutzt unser Institut dabei die selbstentwickelte Simulationssoftware DuMu^{x}. Diese wird nach Open-Source-Prinzipien entwickelt und ermöglicht dadurch die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Viele Modelle sind dabei schon vorhanden und können um weitere erweitert werden.

THEMENBEREICH 06 / NOTFALLSCHUTZ

Thema Überprüfung und Weiterentwicklung des radiologischen Lagebildes als Grundlage für Information und Kommunikation im radiologischen Notfallschutz **Subject** *Review and further development of the radiological situation report as basis for information and communication in radiological emergency management*			
Kennzeichen 3619S62580	**Beginn** 01.12.2019	**Ende** 23.07.2021	**Fördermittel** EUR 261.741,-
Forschungs- / Auftragnehmer Mesh & Moser Situation Management, Wien			
Projektleitung P. Meschenmoser	**Fachbetreuung BfS** C. Pölzl-Viol / St-RK	**verantwortlich für den Text** C. Pölzl-Viol	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Im Fall eines überregionalen radiologischen Notfalls richtet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) gemäß Strahlenschutzgesetz (StrlSchG, § 106 und § 108) ein Radiologisches Lagezentrum des Bundes (RLZ) ein. Das RLZ hat unter anderem die Aufgabe, das radiologische Lagebild zu erstellen (§ 106 StrlSchG). Diese Aufgabe liegt im Zuständigkeitsbereich des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS). Im Lagebild werden relevante Informationen zu Art, Umfang und zu erwartender Entwicklung der radiologischen Lage aufbereitet, dargestellt, bewertet und regelmäßig aktualisiert.

Das Lagebild dient der Information der zuständigen Behörden auf Bundes- und Länderebene im Ereignisfall. Struktur und Inhalte des radiologischen Lagebilds werden im BfS entwickelt und in Zusammenarbeit mit den zuständigen Länderbehörden weiterentwickelt.

Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens ist es, Verbesserungspotenzial für das radiologische Lagebild als Grundlage für Information / Kommunikation mit Behörden und im Weiteren als Grundlage für die Information der Bevölkerung im radiologischen Notfall zu identifizieren. Das Radiologische Lagebild soll auf seine Verständlichkeit durch die geplanten Empfänger*innen und auf die Nutzbarkeit der enthaltenen Informationen durch weitere beteiligte Akteure geprüft werden. Konkret geht es um die Verständlichkeit textlicher wie grafischer Informationen, auch in Stresssituationen und unter Zeitdruck, sowie um die Auslegung darin enthaltener Informationen in unterschiedlichen Kontexten bzw. von Beteiligten mit unterschiedlichen Kompetenzen und Verantwortungsbereichen.

Die Untersuchungen werden anhand der Analyse international vorhandener Erkenntnisse, Empfehlungen und Richtlinien, Interviews mit Experten und Vertretern aus den Anwender- und Empfängergruppen des Lagebilds sowie in Workshops und mittels Plangesprächen durchgeführt. Das Ergebnis des Forschungsvorhabens sind konkret umsetzbare Gestaltungsvorschläge für das Lagebild in Hinblick auf die verschiedenen Anwendergruppen und zur Unterstützung der Öffentlichkeitsarbeit.

Thema			
Unterstützung der RLZ-Kopfstelle beim BMU und des Lagezentrums BfS-Neuherberg bei RLZ-Notfallübungen			
Subject			
Support of the RLZ head office at the BMU and the situation centre BfS-Neuherberg during RLZ emergency exercises			
Kennzeichen 3619S62581	**Beginn** 29.10.2019	**Ende** 28.02.2021	**Fördermittel** EUR 199.009,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung Dr. S. Holbein	**Fachbetreuung BfS** N. Zander / RN 2	**verantwortlich für den Text** Dr. S. Holbein, N. Zander	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Gemäß den Anforderungen des Strahlenschutzgesetzes (s. § 102 StrlSchG) sollen die behördlichen Notfallreaktionen regelmäßig geübt werden. Dabei sind die Notfallübungen nach Art der Übung, Umfang, Notfallszenarien und Beteiligten angemessen zu differenzieren. Um die fachlichen Fähigkeiten des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) geleiteten Radiologischen Lagezentrums des Bundes (RLZ) zu trainieren und somit kontinuierlich effizienter zu gestalten, müssen regelmäßig anspruchsvolle Übungsmaßnahmen vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet werden. Für solche Übungen sind entsprechende Szenarien zu erarbeiten, die das Aufgabenspektrum aller RLZ-Einheiten bei einem radiologisch signifikanten Notfall auf der Basis fundierter Abschätzungen möglicher Gefahrenpotentiale gut abdecken.

Die GRS ist als ein Teil des RLZ u. a. für fachliche Abschätzungen möglicher Gefahrenpotentiale in einem radiologischen Notfall zuständig. In einer Reihe von Vorläufervorhaben im Auftrag von BMU/BfS wurden von der GRS bereits umfangreiche Erfahrungen auf dem Gebiet der Analysen radiologisch signifikanter Ereignisse in kerntechnischen Anlagen gesammelt und für die Übungsszenarien verwendet. Diese Arbeiten werden in dem vorliegenden Vorhaben fortgesetzt. Zu diesem Zweck werden auf Basis von bereits vorliegenden Untersuchungen auf dem Gebiet der schweren auslegungsüberschreitenden Störfälle Analysen zum radiologischen Gefährdungspotential bei möglichen massiven Freisetzungen mit großflächiger Kontamination durchgeführt. Weiterhin werden mögliche anlagenexterne Gefährdungspotentiale für einen Forschungsreaktor anhand vorhandener Quelltermabschätzungen analysiert. Auf Grundlage der Analysen werden angemessene Übungsszenarien für RLZ-Übungen erarbeitet. Darüber hinaus wird bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von zwei RLZ-Notfallübungen auf der Basis der in diesem Vorhaben erarbeiteten Übungsdrehbücher Unterstützung geleistet.

THEMENBEREICH 07 / VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Thema

Repräsentative Umfrage zur deutschlandweiten Erfassung verhältnispräventiver Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen bei Kindertagesstätten und Schulen

Subject

Representative survey to record structural measures for the prevention of UV-induced diseases in childcare facilities and schools in Germany

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3619S72401	01.12.2019	30.11.2020	EUR 158.486,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Institut für Therapie- und Gesundheitsforschung IFT-Nord gGmbH, Kiel

Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlicher für den Text
Prof. Dr. R. Hanewinkel	Dr. C. Baldermann / WR 4	Prof. Dr. R. Hanewinkel, Dr. B. Isensee

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Von April bis September kann es in Deutschland bereits ab dem Vormittag zu einer sehr hohen UV-Belastung kommen. Jedoch ist fraglich, ob die derzeitige Gestaltung der Außenflächen in Kindertagesstätten und Schulen überwiegend dazu geeignet ist, Kinder und Jugendliche beim Aufenthalt im Freien vor übermäßiger UV-Exposition zu schützen. Dies ist besonders gefährlich für Kinder und Jugendliche, die ganztägig in solchen Einrichtungen betreut werden.

Um ein umfassendes und aussagekräftiges Bild der aktuellen Situation zu erhalten, soll eine repräsentative quantitative Online-Befragung zur Bestandsaufnahme der in Deutschland vorhandenen technischen verhältnispräventiven Vorkehrungen und Maßnahmen zum Sonnenschutz in Kindertagesstätten, Grundschulen, Schulen der Sekundarstufe I und II sowie in beruflich bildenden Schulen umgesetzt werden.

Es sollen mind. 1 % und max. 10 % aller Kindertagesstätten und Schulen befragt werden und Aussagen zu folgenden Aspekten ermöglicht werden: Anzahl und Art des technischen UV-Schutzes in den Einrichtungen, erzielter Effekt und Akzeptanz bei Kindern, Jugendlichen und Personal, Finanzierung, Anregungen und Wünsche. Zudem werden strukturelle Charakteristika der Einrichtung erfasst (z. B. Größe, Betreuungsangebot, Größe des Außenbereichs).

Thema Möglichkeiten des Zuschnitts von Risikoinformationen im Strahlenschutz auf unterschiedliche Zielgruppen im Internet **Subject** *Possibility for tailoring risk information in radiation protection to different target groups on the internet*			
Kennzeichen 3619S72402	**Beginn** 01.12.2019	**Ende** 30.11.2020	**Fördermittel** EUR 98.028,-
Forschungs- / Auftragnehmer Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin			
Projektleitung D. Dametto	**Fachbetreuung BfS** Dr. C. Böhmert / St-RK	**verantwortlich für den Text** Dr. C. Böhmert	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Ein häufiges Ergebnis der Risikokommunikationsforschung ist, dass unterschiedliche Rezipient*innen von Risikoinformationen diese unterschiedlich aufnehmen und verstehen, und auch andere Schlüsse daraus ziehen. Die Forschung findet dann so genannte "Interaktionseffekte": Zum Beispiel wirken Risikoinformationen bei Menschen mit unterschiedlichem Vorwissen auf verschiedene Weise. Aus diesen und ähnlichen Befunden wird häufig (und sinnvollerweise) die Notwendigkeit einer maßgeschneiderten, zielgruppenorientierten Risikokommunikation ("tailored risk communication") abgeleitet.

Im vorliegenden Vorhaben sollen auf verschiedene Rezipient*innen „zugeschnittene“ Formen der Risikokommunikation empirisch erprobt werden.

Bewegen sich Nutzer*innen durch das Internet, treffen sie auf für sie zugeschnittene Angebote, wie beispielsweise personalisierte Werbung. Hierbei werden Daten zum Beispiel über die Person oder über deren Nutzungsverhalten als Grundlage für den Zuschnitt von Informationsangeboten genutzt. Im Unterschied zu diesen Methoden des Zuschnitts wird das BfS keine Daten über die Nutzer sammeln und/oder speichern. Das vorliegende Vorhaben untersucht daher Methoden des Zuschnitts von Informationen, die nicht auf vorab erhobenen Daten basieren. Zum einen sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie die Nutzer*innen innerhalb einer Webseite zu den auf ihre Zielgruppe zugeschnittenen Informationen gelenkt werden können. Zum anderen soll getestet werden, wie ein solches, zugeschnittenes Informationsangebot wahrgenommen wird und wie es auf die Rezipient*innen wirkt.

Für ein zu wählendes inhaltliches Themenfeld aus dem Bereich Strahlenschutz hat der Auftragnehmende auf verschiedene Zielgruppen von Rezipient*innen zugeschnittene Formate zu erstellen und diese anschließend empirisch im Hinblick auf das Rezeptionsverhalten und auf ihre Wirkung bei den Rezipient*innen zu testen.

THEMENBEREICH 08 / NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Thema Berücksichtigung aktueller Mobilfunkantennentechnik bei der HF-EMF-Expositionsbestimmung **Subject** *Consideration of current mobile radio antenna technology for RF-EMF exposure assessment*			
Kennzeichen 3619S82463	**Beginn** 15.12.2019	**Ende** 14.03.2021	**Fördermittel** EUR 249.940,-
Forschungs- / Auftragnehmer Institut für Hochfrequenztechnik, RWTH Aachen University, Aachen			
Projektleitung Prof. Dr. D. Heberling	**Fachbetreuung BfS** D. Geschwentner / WR 5	**verantwortlich für den Text** T. Kopacz, Dr. C. Bornkessel, Prof. Dr. M. Muschek	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Durch den Rollout von 5G ist mit einem zunehmenden Einsatz von Massive-MIMO[1)]-Antennen zu rechnen, die mit Hilfe von Strahlformung und -lenkung (Beam Forming und Beam Steering) neben den periodisch zellweit ausgesendeten Broadcast Beams zur Signalisierung auch zielgerichtet Traffic Beams zur Abwicklung des Datenverkehrs auf Nutzer ausrichten können. Die zeitliche Variabilität der Strahlungscharakteristika der Antennen in Verbindung mit verkehrsabhängigen Auslastungsschwankungen in den jeweiligen Mobilfunkzellen stellt die Immissionsmesstechnik vor neue Herausforderungen und kann die Unsicherheiten bei der Immissionsbestimmung erhöhen.

Ziel dieses Vorhabens ist die Entwicklung und Beschreibung von Messverfahren zur Bestimmung tatsächlicher, typischer und maximal möglicher Expositionen von 5G-Massive-MIMO-Basisstationen im 3,6-GHz-Band an für die Allgemeinbevölkerung zugänglichen Orten. Die Messverfahren werden unter Labor- und Feldbedingungen validiert und anschließend an 100 hinsichtlich der Expositionsrandbedingungen unterschiedlichen Immissionsorten im Umfeld von 10 Basisstationen angewendet, um eine Aussage über die Höhe und Spannbreite der Expositionsbeiträge zu treffen. Des Weiteren werden die Expositionsbeiträge der 5G-Massive-MIMO-Basisstationen an 5 Immissionsorten über jeweils 24 Stunden aufgezeichnet sowie an 10 Immissionsorten mit denen von konventionellen Basisstationen (2G, 3G, 4G, TETRA-BOS) verglichen.

[1)] Multiple-Input Multiple-Output

Thema Machbarkeitsstudie eines auf Smartphone-Apps beruhenden Hochfrequenz-Messnetzwerkes zur Abschätzung der Exposition der Bevölkerung mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks **Subject** *Feasibility study of a high-frequency measurement network based on smartphone apps for estimating the exposure of the population to electromagnetic fields of mobile radio*			
Kennzeichen 3619S82468	**Beginn** 01.12.2019	**Ende** 30.11.2021	**Fördermittel** EUR 299.067,-
Forschungs- / Auftragnehmer Institut für Hochfrequenztechnik, RWTH Aachen University, Aachen			
Projektleitung Prof. Dr. D. Heberling	**Fachbetreuung BfS** Dr. J. Kuhne / WR 5	**verantwortlicher für den Text** S. Schießl	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Ein Expositions-Monitoring hochfrequenter elektromagnetischer Felder könnte zur Abschätzung der von den Feldern ausgehenden gesundheitlichen Risiken für die Bevölkerung hilfreich sein. Damit zeitliche und örtliche Variationen mit einer für belastbare Expositionsdaten ausreichenden Auflösung erfasst werden können, sind regelmäßig wiederholte Messungen an vielen Punkten nötig. Die Realisierung eines flächendeckenden und kontinuierlichen Monitorings ist auf Grund des mit herkömmlichen Methoden verbundenen Aufwands nicht möglich. Für den Bereich des Mobilfunks könnte ein Crowdsourcing-basierter Ansatz, der auf die Erhebung von Messdaten mittels Standard-Smartphones setzt, Abhilfe schaffen. Hiermit ließe sich womöglich ein engmaschiges und kontinuierlich arbeitendes Messnetzwerk aufbauen.

Das vorliegende Vorhaben beabsichtigt daher die technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit dieses Ansatzes zu untersuchen. Konkret soll die Frage geklärt werden, ob die von vielen Endgeräten gemessenen Signalstärke-Indikatoren ein repräsentatives Bild der Exposition über das gesamte genutzte Mobilfunkspektrum zeichnen können. Dazu ist zu ermitteln, welche Parameter mit Hilfe einer entsprechenden Anwendung auf dem weit verbreiteten Smartphone-Betriebssystem Android erfassbar sind und zu diesem Zweck ausgewertet werden können. Nach der Aufarbeitung des wissenschaftlichen Standes zu diesem Themenfeld werden umfassende messtechnische Untersuchungen vorgenommen, um den Zusammenhang zwischen Signalstärke-Indikatoren und Feldstärke unter verschiedenen Bedingungen zu bestimmen. Außerdem wird die Umsetzung des Crowdsourcing-Ansatzes anhand von real erfassten Daten in großem Umfang getestet.

Thema			
Wirkungen auf Zellen der Körperoberfläche bei Expositionen mit Zenti- und Millimeterwellen (5G-Frequenzen)			
Subject			
Effects of centi- and millimeter wave exposure (5G fequencies) on cells of the body surface			
Kennzeichen 3619S82470	**Beginn** 01.11.2019	**Ende** 30.09.2022	**Fördermittel** EUR 1.167.818,-
Forschungs- / Auftragnehmer Jacobs University Bremen, Focus Area Health			
Projektleitung Prof. Dr. A. Lerchl	**Fachbetreuung BfS** Dr. J.-A. Schmidt / WR 5	**verantwortlich für den Text** Prof. A. Lerchl	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Das neue 5G-Protokoll zum Übertragen großer Datenmengen im Bereich des Mobilfunks verursacht Bedenken und Befürchtungen in der Bevölkerung, wenngleich die zunächst benutzten Frequenzen hinlänglich untersucht sind. Die biologischen Effekte der später genutzten Frequenzen im Bereich von etwa 27 und über 40 GHz sind hingegen nur in wenigen Veröffentlichungen thematisiert worden. Daher ist es Ziel dieses Projekts, Wirkungen von elektromagnetischen Feldern im Zenti- und Millimeterwellenbereich auf menschliche Zellen zu untersuchen. Da die elektromagnetischen Felder in den hier untersuchten Frequenzbereichen nur in die oberen Schichten der Haut eindringen, sollen als biologische Endpunkte die Genexpression sowie die DNA-Methylierung nach Exposition in Zellen der Körperoberfläche analysiert werden. Die Ergebnisse des Vorhabens sind für die weitere Verbesserung des Strahlenschutzes und der Strahlenschutzvorsorge mit Hinblick auf die Einführung von 5G erforderlich.

THEMENBEREICH 09 / DEUTSCHES MOBILFUNK-FORSCHUNGSPROGRAMM / STROMNETZAUSBAU

Thema

Erprobung, Weiterentwicklung und Validierung von neuartiger Messtechnik für statische und niederfrequente elektrische und magnetische Felder

Subject

Development and validation of new measurement techniques for the measurement of static and low frequency electric fields

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3619S92411	01.12.2019	30.11.2021	EUR 704.238,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Donau Universität Krems, Department für Integrierte Sensorsysteme, Wien

Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text
Dipl.-Ing. Dr. W. Hortschitz	Dr. J. Kuhne / WR 5	Dr. J. Kuhne

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Die in Deutschland geplanten Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs-Leitungen (HGÜ) werden statische elektrische und magnetische Felder und ggf. Raumladungswolken emittieren, die langsam variierende quasistatische elektrische Felder zur Folge haben. Für die Bestimmung der Exposition der Bevölkerung müssen diese Felder vermessen werden. Die Messung der ungestörten elektrischen Felder mit herkömmlichen potentialbezogenen Methoden erweist sich als schwierig, da die Messtechnik selbst das Feld verzerren kann. Zusätzlich verfälschen die Ionen der Raumladungswolken die Messergebnisse. Abhilfe könnten neuartige kompakte Messmethoden schaffen, beispielsweise jene, die Mikroelektromechanik und optische Sensorik vereinen. In diesem Vorhaben soll neuartige Messtechnik für statische und niederfrequente elektrische Felder identifiziert, für die notwendigen Messaufgaben angepasst, erprobt und validiert werden.

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

2. ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)

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

Leukämie im Kindesalter - Aufbau, Stabilisierung und ggf. Erweiterung eines internationalen Netzwerkes zur Ursachenforschung von Leukämien im Kindesalter; Erkenntnisgewinn durch internationale Vergleichsstudien / 3614S30041

Tabelle 1: Special Issue in „Cancer Epidemiology“ zu Kinderkrebs
4

Abbildung 1: Ablaufdiagramm zu Burkitt Lymphom in Uganda
5

Abbildung 2: Methodik der Identifizierung relevanter Artikel für Einzelzielsetzung 2.3
6

Charakterisierung von Exosomen nach In-vitro- und In-vivo-Bestrahlung als Marker der Strahlenexposition / 3616S32260

Abbildung 1: Qualitätskontrolle von Exosomenpräparationen. A. Nachweis exosomaler Markerproteine mittels Western Blot in Exosomen aus der Fibroblastenzelllinie 1BR.3 B. Größen- und Konzentrationsbestimmung von Exosomen aus unbestrahlten 1BR.3 Zellen mittels Nanosight.
10

Abbildung 2: Venn-Diagramm zur Darstellung identifizierter und strahlenregulierter exosomaler Proteine. Gezeigt ist die Anzahl der detektierten Proteine (links) und die Anzahl der strahlen-reguliertenProteine (alle Dosen) (rechts) in den vier untersuchten Zellsystemen.
10

Tabelle 1: Übersicht über die mittels Massenspektrometrie detektierte Menge ausgewählter Proteine und deren strahlen-induzierte Regulation
11

Abbildung 3: Venn-Diagramm zur Anzahl detektierter microRNAs in Exosomen aus den vier verschiedenen Zellsystemen (links), Anzahl strahlen-regulierter microRNAs in allen vier Zellsystemen (rechts)
12

2.2 Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Erhebung der Medizinischen Strahlenexposition in der Nationalen Kohorte / 3616S42233

Tabelle 1: Teilnahmecharakteristika der Basiserhebung (SD = Standardabweichung)
17

Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen radioaktiver Stoffe in der Nuklearmedizin und praktische Erprobung der Meldekriterien / 3617S42332

Abbildung 1: Anzahl der in den unterschiedlichen klinischen Einrichtungen erfassten Vorkommnisse. Die Zeiträume bezeichnen die Intervalle zwischen dem Projektstart und der ersten und zweiten Zwischenauswertung sowie zur Abschlussauswertung.
24

Abbildung 2: Schematischer Ablauf einer Auseinandersetzung mit Vorkommnissen im Sinne des Risikomanagements
25

Abbildung 3: Beispielhafter Prozess zur Erfassung, Bewertung und ggf. Meldung eines Vorkommnisses im Kontext einer kleineren Praxis ohne Dosismanagementsystem, bei der der Inhaber gleichermaßen als fachkundiger (Zahn-)Arzt und Strahlenschutzverantwortlicher auftritt
26

Abbildung 4: Oberfläche zur Erfassung von Vorkommnissen mit exemplarischen Eingaben. Personen und das Vorkommnis sind frei erfunden
26

Erfassung der Häufigkeiten und Expositionsparameter in der pädiatrischen Radiologie / 3617S42441

Tabelle 1: Verteilung der teilnehmenden Einrichtungen
34

Tabelle 2: Absolute und relative Häufigkeiten nach Einrichtungsart mit mehr als 20 pädiatrischen radiologischen Untersuchungen
35

Abbildung 1: CTDIvol von CT-Thorax-Untersuchungen nach Altersgruppen getrennt zusammen mit DRW aus Deutschland und der Schweiz. Die Ergebnisse für PädRadio zeigen den Median der Verteilung der Parameterwerte (als Punkt dargestellt) sowie den Bereich vom 1. bis zum 3. Quartil (als vertikale Linie dargestellt)
36

Abbildung 2: Dosislängenprodukt (DLP) von CT-Thorax-Untersuchungen getrennt nach Altersgruppen zusammen mit DRW aus Deutschland und der Schweiz. Die Ergebnisse für PädRadio zeigen den Median der Verteilung der Parameterwerte (als Punkt dargestellt) sowie den Bereich vom 1. bis zum 3. Quartil (als vertikale Linie dargestellt)
36

Einweisung und Schulung medizinischen Personals in die sachgerechte Handhabung von Geräten zu diagnostischen Zwecken in der Radiologie und Nuklearmedizin (Evaluation der Ausbildungsqualität im Strahlenschutz (EDAQS)) / 3617S42444

Abbildung 1: Schematischer Überblick über das neu entwickelte Kurskonzept.
41

Abbildung 2: Ausschnitt aus dem Gegenstandskatalog. Für jeden Themenblock sind die Themen mit Zeiten und weiteren Beispielinhalten genannt.
42

Abbildung 3: Deckblatt und Einleitung des in diesem Projekt entwickelten Leitfadens
43

Abbildung 4: Ausschnitt aus dem Themenkatalog für die Einweisung. Gelb markiert sind Inhalte mit Einfluss auf die Exposition des Patienten
43

2.3 Themenbereich 05 Radioökologie

Experimentelle Bestimmung von Kd-Werten für endlagerrelevante Radionuklide und REFESOL-Böden / 3616S52530

Abbildung 1: Versuchsaufbau des Einstauversuchs
51

Abbildung 2: Versuchsaufbau des Beregnungsversuchs
52

Abbildung 3: Analyse Ergebnisse Ni-63 für einen Beregnungsversuch
53

2.4 Themenbereich 06 Notfallschutz

Ausbau der wissenschaftlichen und der technischen Basis für die Aufgaben des Teams „Strahlenschutz“ im Notfallzentrum der GRS / 3616S62550

Abbildung 1: Zeitlicher Verlauf der Dosisleistung durch Gamma-Strahlung aus der umgebenden Luft im Ringraum und auf dem Anlagengelände infolge eines Kernschmelzunfalls mit gefilterter Druckentlastung des Sicherheitsbehälters (10 cm2 Leck im heißen Strang mit Ausfall der Dampferzeuger-Wärmeabfuhr)
59

Abbildung 2: Schematischer Ablauf zur Verknüpfung technischer und radiologischer Informationen für die Quelltermabschätzung
60

Entwicklung eines Dosimeters zur Messung der gesetzlichen Messgrößen Umgebungs-Äquivalentdosis H*(10) sowie Richtungs-Äquivalentdosis H'(0,07), insbesondere für eine Photonenenergie unterhalb von 30 keV / 3617S72384

Abbildung 1: Sensorkopf mit Quarzglaskopplung und BeO-Chip
71

Abbildung 2: Sensorkopf (H*(10)) mit Bleiummantelung und Eingangsfenster
72

Abbildung 3: Tragbarer Prototyp
72

Durchführung einer repräsentativen Erhebung im Jahr 2019 mit dem Titel "Was denkt Deutschland über Strahlung? Umfrage 2019" / 3619S72204

Abbildung 4: Moderne Gesundheitssorgen
76

2.6 Themenbereich 08 Nichtionisierende Strahlung

Fachgespräch zur Risikobewertung und Risikowahrnehmung beim Stromnetzausbau / 3618S82450

Abbildung 1: Basiskonzeption des Fachgesprächs
91

Abbildung 2: Schlüsselbegriff: Risiko (soziologisch)
92

Abbildung 3: Zielgruppen und Wissensvermittler*innen zum Thema „Stromnetzausbau und Gesundheit“
93

Untersuchung der Machbarkeit und Vorbereitung einer gepoolten Analyse zum Zusammenhang von Amyotropher Lateralsklerose (ALS) und Magnetfeldexposition / 3618S82451

Tabelle 1: Risikoschätzer (hohe vs. niedrige MF-Exposition) in 21 Studien zur beruflichen Magnetfeldexposition
98

Überprüfung von Darstellungsformaten für Messergebnisse niederfrequenter Felder und deren Bedeutung für die Risikokommunikation / 3618S82452

Abbildung 1: Untersuchungsdesign
103

Evaluierung der Botschaften und Texte des BfS aus dem Bereich des Stromnetzausbaus / 3618S82454

Abbildung 1: Verständlichkeit des Inhalts (Darstellung: IZT) *112*

Abbildung 2: Vertrauenswürdigkeit des Inhalts (Darstellung: IZT) *112*

3. STATUSBERICHTE

3.2 Themenbereich 02 Strahlenschutztechnik

Studie über die Notwendigkeit, Möglichkeit und Machbarkeit der Ablösung von hochradioaktiven Strahlenquellen durch alternative Technologien in Deutschland / 3618S22363

Tabelle 1: Anteil der HRQ in Deutschland (Stand: 26.02.2019) *141*

Tabelle 2: Anwendungsgebiete und typische Eigenschaften von HRQ *142*

Tabelle 3: Mögliche Alternativtechnologien und Bewertungskriterien je Anwendungsbereich *143*

3.4 Themenbereich 04 Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Erfassung der aktuellen Kontaminationssituation bei Wildschweinen in Deutschland / 3617S52531

Tabelle 1: Statistische Daten der Gesamtfrischgewichte von Hirschtrüffeln an je 15 Rasterpunkten pro Untersuchungsgebiet (Boden Suchvolumen jeweils 2 x 2 x 0,25 m) *172*

Tabelle 2: Statistische Daten zur Cs-137-Aktivität von Hirschtrüffeln *173*

3.8 Themenbereich 08 Nichtionisierende Strahlung

Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell) / 3616S82440

Tabelle 1: Anzahl sezierter Tiere *230*

Abkürzungen

Abbreviations

ATG	Atomgesetz
cDNA/cRNA	complementäre DNA/RNA
CT	Computertomographie
DAB	digital audio broadcasting
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V./ the German institute for standardisation
DNA	Desoxyribonukleinsäure (desoxyribosenucleic acid)
DTX	discontinuous transmission
DVB-T	digital video broadcast-terrestrial
EMF	elektromagnetische Felder
EPR	Lumineszenz- und paramagnetische Elektronenresonanz
FDTD	finite - difference time - domain
GSM	global system mobile communication
HF/RF	high/radio frequency
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICNIRP	International Commission on Non-Ionising Radiation Protection
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
KKW	Kernkraftwerk
LET	linearer Energietransfer
MMS	multimedia messaging service
mRNA	messanger RNA
MRT/MRI	Magnetresonanztomographie / Magnet Resonance Imaging
ODL	Ortsdosisleistung
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PCR	polymerase chain reaktion
PET-CT	Positronen-Emissions-Tomographie (PET) - Computertomographie
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
RBW	resolution band width
RNA	Ribonukleinsäure (ribonucleic acid)
ROC	receiver operating characteristic
RöV	Röntgenverordnung
RT-PCR	reverse transkription-polymerase chain reaction
SAR	spezifische Absorptionsrate
siRNA	small interfering RNA
SSK	Strahlenschutzkommission
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
TETRA	terrestrial trunked radio
UMTS	universal mobile telecommunication system
UVI	UV-Index
WAP	wireless application protocol
WHO	World Health Organization
WLAN	wireless local area network
WTD	Wehrtechnische Dienststelle

Kontaktadressen

Fragen nach näheren Informationen über die in diesem Programmreport genannten Projekte können an folgende Stelle gerichtet werden:

Bundesamt für Strahlenschutz
Koordination und administrative Begleitung von Forschungsvorhaben (Z 4)
Postfach 10 01 49
D-38201 Salzgitter
Tel.: (030) 18333-2119

Verantwortung für Mensch und Umwelt

Kontakt:
Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 100149
D - 38201 Salzgitter
Telefon: +49 (0)3018 333-0
Telefax: +49 (0)3018 333-1885
Internet: www.bfs.de
E-Mail: ePost@bfs.de
Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier

Bundesamt für Strahlenschutz