



Bundesamt
für Strahlenschutz

Schriften

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2021

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

BfS SCHR-68/23

Redaktion:

Dr. Ulrike Kulka

Dr. Josef Peter

Angela Trugenberger-Schnabel

Anita Lovsky

Impressum

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Tel.: +49 30 18333-0

Fax: +49 30 18333-1885

E-Mail: ePost@bfs.de

De-Mail: epost@bfs.de-mail.de

www.bfs.de

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

urn:nbn:de:0221-2024012941045

Stand: Mai 2022

Schriften

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2021

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

BfS SCHR-68/23

INHALT

1. ZUSAMMENFASSUNG	XIX
1.1 VORBEMERKUNG	XIX
1.2 EINFÜHRUNG	XIX
1.3 ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE 2021	XX
2. ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)	
2.1 THEMENBEREICH 01 NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION	
Fünftes Mortalitäts-Follow-up (Todesursachen-Recherche) der Kohorte von ca. 60 000 Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2018	4
3618S12222	
Wirkung staatlicher Fördermaßnahmen auf die Umsetzung von Radonsanierungsmaßnahmen im Wohnbereich - eine Potenzialanalyse	7
3620S12282	
2.2 THEMENBEREICH 02 STRAHLENSCHUTZTECHNIK	
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	14
3619S22370	
2.3 THEMENBEREICH 03 STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER UND NICHTIONISIERENDER STRAH- LUNG, STRAHLENEMPFINDLICHKEIT	
Einfluss von Niedrigdosisstrahlung auf die Leukämieentwicklung bei genetischer Prädisposition in einem Mausmodell	22
3618S32274	
Bestimmung der Frequenz präleukämischer Translokationen in Nabelschnurblut	30
3618S32275	
2.4 THEMENBEREICH 04 MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG	
Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm (Mortalitätsevaluation) - 1. Teil der Hauptstudie	41
3617S42402	

Daten-, Prozess- und Auswertungsaudits im Zuge der Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm (MSP) 48
3619S42460

Konzept zur Umrechnung dosisrelevanter Parameter in der digitalen Volumentomographie 55
3619S42462

2.5 THEMENBEREICH 05 RADIOÖKOLOGIE

2.6 THEMENBEREICH 06 NOTFALLSCHUTZ

Integration des atmosphärischen Ausbreitungsmodells FLEXPART in RODOS zur Erweiterung der Möglichkeiten der inversen Modellierung zur Quellort- und Quelltermbestimmung auf der Grundlage von Messdaten 66
3619S62500

Überprüfung und Weiterentwicklung des radiologischen Lagebildes als Grundlage für Information und Kommunikation im radiologischen Notfallschutz 74
3619S62580

Unterstützung der RLZ-Kopfstelle beim BMU und des Lagezentrums BfS-Neuherberg bei RLZ-Notfallübungen 78
3619S62581

2.7 THEMENBEREICH 07 VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition bei der mobilen Radiographie 84
3617S72382

Studie zu Aktivitäts- und Partikelgrößenverteilungen im Nano- und Millimeterbereich in der Fortluft kerntechnischer Anlagen mit und ohne Vollfilterung 93
3617S72572

Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG und standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle 99
3618S72392

Repräsentative Umfrage zur deutschlandweiten Erfassung verhältnispräventiver Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen bei Kindertagesstätten und Schulen 109
3619S72401

Erfassung des Umgangs der deutschen Bevölkerung mit Radon als Grundlage für Risikokommunikation und Stärkung des Schutzverhaltens 116
3620S72211

Eine vergleichende Evaluation der Online-Krisenkommunikation von Behörden und unabhängigen Expert*innen im Zuge der Covid-19 Pandemie als Grundlage für die Verbesserung der BfS-Krisenkommunikation - Los 2 123
3620S72216

Blendattacken und Augenschädigungen durch Laser und andere starke optische Strahlungsquellen 127
3620S72410

2.8 THEMENBEREICH 08 NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Bewertende Literaturstudie zum Auftreten, zur Ausbreitung und zu gesundheitlichen Auswirkungen von ionisierten Schadstoffpartikeln in der Umgebung von Starkstromleitungen	134
3618S82453	
Berücksichtigung aktueller Mobilfunkantennentechnik bei der HF-EMF-Expositionsbestimmung ..	141
3619S82463	
Detaillierte vergleichende Analyse der Alters- und Geschlechtsabhängigkeit des Einflusses hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit	148
3619S82465	
Sichtweisen der Bevölkerung auf den 5G-Mobilfunkstandard und dessen kommunikative Darstellung	156
3620S82471	
Mobilfunkkonflikte aus der Vergangenheit als Lehrbeispiel für die Kommunikation über 5G	161
3620S82476	
Nutzung von Mobiltelefonen und Verlauf der Gliom-Inzidenz seit 1979	166
FM 8867	

2.9 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	174
3619S92412	

3. STATUSBERICHTE

3.1 THEMENBEREICH 01 NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Ermittlung der Unsicherheit in der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte - Teil 2	182
3618S12223	
Natürliche Radionuklide in Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland – Erfassung und Evaluierung der im Kontext der Richtlinie 2013/51/Euratom erhobenen TrinkwV Anlage 3a-Daten	185
3620S12281	
Untersuchung der Abhängigkeit von Radoneintrittsraten und Luftwechsel von Witterungsparametern und Nutzerverhalten als Grundlage für die Beurteilung der Radondichtheit von Gebäuden	189
3621S12220	

3.2 THEMENBEREICH 02 STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Aufbau und Charakterisierung eines Referenzfeldes zur Sicherstellung des Strahlenschutzes an Beschleunigeranlagen in Medizin und Forschung und zur Prüfung und Kalibrierung entsprechender Messgeräte	194
3619S22364	

Analyse von Urankonzentraten aus Deutschland mit bekannter Herkunft: Unterstützung der Nuklearen Forensik in Deutschland 197
3621R01611

3.3 THEMENBEREICH 03

STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER UND NICHTIONISIERENDER STRAHLUNG, STRAHLENEMPFFINDLICHKEIT

Validierung genetischer Loci, die das Lungenkrebsrisiko in Abhängigkeit von der Radonexposition beeinflussen - Qualitätssicherung und Auswertung 202
3620S32271

Untersuchung biologischer Mechanismen strahlen-induzierter Herz-Kreislauf-Erkrankungen 206
3621S32210

3.4 THEMENBEREICH 04

MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Verlängerung der Nachbeobachtungszeit in der REQUITE-Studie zu Nebenwirkungen und Biomarkern für Strahlenempfindlichkeit bei Strahlentherapiepatienten 210
3619S42261

Bestimmung von Mindestanforderungen an Bildqualität und Dosis in der Brusttomosynthese 213
3619S42363

Erweiterte Erhebung der medizinischen Strahlenexposition in der NAKO-Gesundheitsstudie und Verknüpfung mit Sekundärdaten 216
3620S42270

Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie 220
3620S42351

Simulation von interventionellen Strahlenanwendungen in virtueller Realität zur Optimierung des Strahlenschutzes von Personal und Patienten 223
3621S42350

Präklinische Experimente zur Nuklidverteilung, pharmakokinetische Modellierung und interne Dosisabschätzung bei der Radionuklidtherapie mit Alpha-Strahlern 225
3621S42440

3.5 THEMENBEREICH 05

RADIOÖKOLOGIE

Modellierung von Hydrodynamik und Stofftransport bei wassergebundenen Transportprozessen im Strahlenschutz unter Berücksichtigung der Freigabe schwach radioaktiver Stoffe 230
3618E03510

Ermittlung eines generischen Quellterms für die Modellierung der Staubfreisetzung aus NORM mit ARTM unter Berücksichtigung meteorologischer Parameter und relevanter Stoffeigenschaften 233
3620S52270

Alters- und produktgruppenspezifische Auswertung der in Deutschland erhobenen Verzehrsdaten 237
3620S52550

3.6 THEMENBEREICH 06 NOTFALLSCHUTZ

Erweiterung des Anwendungsbereichs der Werkzeuge zur Kombination anlagentechnischer und radiologischer Informationen zur Einschätzung von Freisetzenzen	242
3620S62501	
Weiterentwicklung des RODOS-Moduls „Dosisrekonstruktion“ zur Dosisabschätzung basierend auf Umwelt-Messdaten nach einem radiologisch relevanten Ereignis mit Hilfe von fortgeschrittenen Interpolationsmethoden	246
3620S62593	
Analyse von Gamma-Spektren unter Anwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz	249
3620S62594	
Interdisziplinäre Lageinformationen zur Optimierung des radiologischen Lagebildes (ILaS RLB)	255
3620S62599	
Überarbeitung des Maßnahmenkatalogs, Integration, Aktualisierung bisher unberücksichtigter Maßnahmen auf Basis der Erstellung §§ 98, 99 StrSchG Allgemeiner Notfallplan, Besondere Notfallpläne des Bundes	259
3621S62520	

3.7 THEMENBEREICH 07 VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Eine vergleichende Evaluation der Online-Krisenkommunikation von Behörden und unabhängigen Expert*innen im Zuge der Covid-19-Pandemie als Grundlage für die Verbesserung der BfS-Krisenkommunikation - Los 1	264
3620S72215	
Erfassung der Schallfelder von frei am Markt erhältlichen Ultraschallquellen: Abschätzung des Schädigungspotentials	269
3620S72412	
Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG und standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle sowie sonstigen Einrichtungen nach StrlSchG	271
3621S72350	

3.8 THEMENBEREICH 08 NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell)	276
3616S82440	
Bewertende Literaturstudie zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf oxidative Prozesse bei Menschen sowie in Tier- und Laborstudien	279
3619S82464	
Machbarkeitsstudie eines auf Smartphone-Apps beruhenden Hochfrequenz-Messnetzwerkes zur Abschätzung der Exposition der Bevölkerung mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks	282
3619S82468	
Wirkungen auf Zellen der Körperoberfläche bei Expositionen mit Zenti- und Millimeterwellen (5G-Frequenzen)	285
3619S82470	

Einfluss der zwischenfrequenten Magnetfelder der induktiven Leistungsübertragung beim Aufladen von Elektrofahrzeugen auf das Verhalten von Labornagern 288
3620EMF401

Smart Citys: Abschätzung der Gesamtexposition des Menschen durch zusätzliche 5G Mobilfunktechnologien anhand modellierter Zukunftsszenarien 291
3620KEMF201

Beteiligung an einer Folgestudie zur Verifikation oder Falsifikation der Ergebnisse der NTP-Langzeitstudie an Mäusen und Ratten zur Ganzkörperexposition mit Mobilfunkfeldern 294
3620S82474

Systematischer Review zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf die Fruchtbarkeit bei Menschen sowie in Tier- und Laborstudien 297
3620S82475

3.9 THEMENBEREICH 09

DEUTSCHES MOBILFUNK FORSCHUNGSPROGRAMM / STROMNETZAUSBAU

Erprobung, Weiterentwicklung und Validierung von neuartiger Messtechnik für statische und niederfrequente elektrische und magnetische Felder 302
3619S92411

Untersuchung zum Auftreten von Leukämie bei prädisponierten, Magnetfeld-exponierten Tiermodellen 305
3620S92410

Machbarkeitsstudie für eine interdisziplinäre Studie zur Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen Umwelt-, genetischen Faktoren und Leukämie in B-Zell ALL-Patienten 308
3620S92412

4. 2021 BEGONNENE FORSCHUNGSVORHABEN, ZU DENEN NOCH KEINE ERGEBNISSE VORLIEGEN

Untersuchung zur Nutzbarkeit von Citizen Science zur Gewinnung von Daten zur Radoninnenraumkonzentration 312
3621S12230

Untersuchung der Abhängigkeit der Radonkonzentration in der Bodenluft in rund 1 Meter Tiefe von Wetterparametern für Böden mit verschiedenen Permeabilitäten und Nutzungshistorien 313
3621S12240

Entwicklung eines Prüfkonzpts für die Gewährleistung des Strahlenschutzes beim Betrieb von Ultrakurzpuls-Lasern 314
3620S22373

Validierung genetischer Loci, die das Lungenkrebsrisiko in Abhängigkeit von der Radonexposition beeinflussen - genetische Typisierung 315
3621S32220

Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm (Mortalitätsevaluation) - 2. Teil der Hauptstudie 316
3621S42410

Entwicklung eines AMS-Messsystems zur radiologischen Charakterisierung von aktivierten Reaktor-komponenten in der Stilllegung hinsichtlich der Freigabefähigkeit 317
3621E03520

Weiterentwicklung des atmosphärischen Radionuklid-Transport-Modells ARTM zur Verarbeitung komplexer und realitätsnaher Wind- und Turbulenzfelder für eine realitätsnähere Modellierung von emittierten radioaktiven Stoffen in die Umwelt	318
3621S52510	
Verifizierung des neuen BfS-Dosismodells DARTM bezüglich des Luftpfads für Expositionsrechnungen nach der gültigen AVV Tätigkeiten	319
3621S52520	
Unterstützung der RLZ-Notfallübungen	320
3621S62560	
Durchführung einer repräsentativen Erhebung im Jahr 2021 mit dem Titel „Was denkt Deutschland über Strahlung? Umfrage 2021“	321
3621S72210	
Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschuss Materialprüfung (NMP) sowie aus dem Komitee K967 der DKE	322
3621S72340	
Bestimmung von Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern der Elektromobilität	323
3620S82473	
Entwicklung und Verfeinerung dosimetrischer Modelle für die Expositionsanalyse und -bewertung	324
3621SNA201	
Wahrnehmungsschwellen und Wirkmechanismen statischer und niederfrequenter elektrischer Felder bei Menschen	325
3621SNA401	
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	326
Abkürzungen	332

CONTENT

1. SUMMARY	XXX
1.1 PREFACE	XXX
1.2 INTRODUCTION	XXX
1.3 SUMMARY OF RESULTS FROM RESEARCH PROJECTS IN 2021	XXXI
2. RESULTS (FINAL REPORTS)	
2.1 SUBJECT AREA 01	
NATURAL RADIATION EXPOSURE	
<i>Fifth mortality follow-up of the cohort of approximately 60 000 former Wismut employees with cut-off date December 31st, 2018.....</i>	<i>4</i>
3618S12222	
<i>Impact of state subsidies on implementing radon remediation measures in the housing sector - an analysis of potentials</i>	<i>7</i>
3620S12282	
2.2 SUBJECT AREA 02	
RADIATION PROTECTION TECHNIQUES	
<i>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</i>	<i>14</i>
3619S22370	
2.3 SUBJECT AREA 03	
RADIATION BIOLOGY - EFFECTS OF IONISING AND NON-IONISING RADIATION, RADIOSENSITIVITY	
<i>Influence of low-dose radiation on leukemia development in a genetically predisposed mouse model</i>	<i>22</i>
3618S32274	
<i>Determination of the frequency of preleukemic translocations in umbilical cord blood</i>	<i>30</i>
3618S32275	

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

Evaluation of the breast cancer mortality in the German Mammography Screening Program (MSP) 41
3617S42402

Data, process and evaluation audits in the course of the evaluation of breast cancer mortality in the German Mammography Screening Program (MSP)..... 48
3619S42460

Development of a concept to convert dose quantities on cone beam computed tomography scenarios..... 55
3619S42462

**2.5 SUBJECT AREA 05
RADIOECOLOGY**

**2.6 SUBJECT AREA 06
EMERGENCY MANAGEMENT**

Integration of the atmospheric dispersion model FLEXPART into RODOS to extend the capabilities of inverse modeling for source location and source term determination based on measured data 66
3619S62500

Review and further development of the radiological situation report as basis for information and communication in radiological emergency management..... 74
3619S62580

Support of the RLZ head office at the BMU and the situation centre BfS-Neuherberg during RLZ emergency exercises 78
3619S62581

2.7 SUBJECT AREA 07

PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

<i>Survey of activity-related occupational dose exposure during mobile radiography.....</i>	84
3617S72382	
<i>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</i>	93
3617S72572	
<i>Update of the investigation and evaluation of task-related radiation exposure in nuclear facilities and on-site interim storage facilities for radioactive waste</i>	99
3618S72392	
<i>Representative survey to record structural measures for the prevention of UV-induced diseases in child-care facilities and schools in Germany.....</i>	109
3619S72401	
<i>Survey of the German population's dealing with radon as a basis for risk communication and strengthening of protective behavior</i>	116
3620S72211	
<i>A comparative evaluation of online crisis communication of authorities and independent experts in the context of the COVID-19 pandemic as basis for an improvement of crisis communication of the Federal Office of Radiation Protection - Lot 2</i>	123
3620S72216	
<i>Dazzle attacks and eye injuries by lasers and other powerful sources of optical radiation.....</i>	127
3620S72410	

2.8 SUBJECT AREA 08

NON-IONISING RADIATION

<i>Study and evaluation of literature on occurrence, spread and health effects of ionised pollutant particles in the vicinity of power lines.....</i>	134
3618S82453	
<i>Consideration of current mobile radio antenna technology for RF-EMF exposure assessment</i>	141
3619S82463	
<i>Detailed comparative analysis of age and sex related effects of radiofrequency electromagnetic fields from mobile telephony devices on brain activity, sleep and cognitive performance.....</i>	148
3619S82465	
<i>Views of the population on the 5G mobile phone standard and its communicative presentation....</i>	156
3620S82471	
<i>Past conflicts surrounding 5G networks as a lesson for future communication strategies</i>	161
3620S82476	
<i>The use of mobile phones and the development of glioma incidence since 1979</i>	166
FM 8867	

2.9 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 174
3619S92412

3. STATUS REPORTS

3.1 SUBJECT AREA 01

NATURAL RADIATION EXPOSURE

Determination of uncertainties of radiation exposure assessment in the Wismut cohort - part 2 ... 182
3618S12223

Natural radionuclides in drinking water in the Federal Republic of Germany - collection and evaluation of the Drinking Water Ordinance Annex 3a Data Collected in the context of Directive 2013/51/Euratom 185
3620S12281

Investigation of the dependence of radon entry rate and air exchange rate in relation to weather parameters and user behavior as a baseline for assessing the radon tightness of buildings..... 189
3621S12220

3.2 SUBJECT AREA 02

RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Establishing a reference field for radiation protection in medical and research applications and calibration of measurement devices..... 194
3619S22364

Analysis of German uranium concentrates of documented origin: Supporting nuclear forensics in Germany..... 197
3621R01611

3.3 SUBJECT AREA 03

RADIATION BIOLOGY - EFFECTS OF IONISING AND NON-IONISING RADIATION, RADIOSENSITIVITY

Validation of genetic loci that modify the risk of lung cancer interacting with radon exposure - quality assurance and evaluation..... 202
3620S32271

Monitoring biological mechanisms of radiation induced cardiac disease 206
3621S32210

3.4 SUBJECT AREA 04

MEDICAL RADIATION EXPOSURES / X-RAY ORDINANCE

Extension of the follow-up in the REQUITE study on side effects and biomarkers for radiation sensitivity in radiotherapy patients 210
3619S42261

Determination of minimum requirements for image quality and dose in breast tomosynthesis 213

3619S42363

Extended assessment of medical radiation exposure in the German National Cohort and linkage to secondary data 216
3620S42270

Preparation and revision of technical standards for radiation protection and quality assurance in medical radiology 220
3620S42351

Simulation of interventional radiation applications in virtual reality to optimize radiation protection of personnel and patients 223
3621S42350

Preclinical experiments for the radionuclide distribution, pharmacokinetic modelling and assessment of the internal dose during radionuclide therapy with alpha emitters 225
3621S42440

3.5 SUBJECT AREA 05 RADIOECOLOGY

Modelling of hydrodynamics and mass transport in water-bound transport processes in radiation protection considering clearance of material with negligible activity 230
3618E03510

Evaluation of a generic source term for modelling of dust dispersion from NORM material using ARTM computer code considering meteorological parameter and relevant material properties 233
3620S52270

Age- and product group-specific evaluation of food consumption data collected in Germany 237
3620S52550

3.6 SUBJECT AREA 06 EMERGENCY MANAGEMENT

Enhancement of the application range for tools which combine plant and radiological information to assess radioactive releases 242
3620S62501

Further development of the RODOS module "Dose Reconstruction" for dose estimation based on environmental measurement data after a radiologically relevant event using advanced interpolation methods 246
3620S62593

Artificial Intelligence based Methods for the Analysis of Gamma Spectra 249
3620S62594

Optimizing the radiological situation picture by interdisciplinary situation information 255
3620S62599

Revision of the compendium of measures, integration, updating of previously unconsidered measures based on the preparation of §§ 98, 99 StrlSchG General Emergency Plan, Special Emergency Plans of the Federation 259
3621S62520

3.7 SUBJECT AREA 07

PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

A comparative evaluation of the online crisis communication of authorities and independent experts in the course of the Covid 19 pandemic as a basis for improving BfS crisis communication - Lot 1..... 264
3620S72215

Survey of sound fields of publicly available ultrasound sources: Evaluation of the potential hazards 269
3620S72412

Update of the investigation and evaluation of task-related radiation exposure in nuclear facilities and on-site interim storage facilities for radioactive waste as well as other radiation relevant installations 271
3621S72350

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) 276
3616S82440

Assessed literature study on the influence of electric, magnetic and electromagnetic fields on oxidative processes in humans as well as in animal and laboratory studies..... 279
3619S82464

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..... 282
3619S82468

Effects of centi- and millimeter wave exposure (5G frequencies) on cells of the body surface 285
3619S82470

Influence of intermediate frequency electromagnetic fields from inductive power transmission during the charging of electric vehicles on the behaviour of laboratory rodents 288
3620EMF401

Smart cities: Estimation of resulting human exposure caused by additional 5G mobile communication technology based on numerical modelling of future scenarios 291
3620KEMF201

Participation in a follow-up study for verification or falsification of the results of the NTP-longterm study concerning whole body exposure of mice and rats in mobile communications radio frequency fields 294
3620S82474

Systematic review on the influence of electric, magnetic and electromagnetic fields on adverse fertility outcomes in humans as well as in animal and laboratory studies 297
3620S82475

3.9 SUBJECT AREA 09

GERMAN MOBILE TELECOMMUNICATION RESEARCH PROGRAMME / NATIONAL GRID EXPANSION

Development and Validation of new measurement techniques for the measurement of static and low frequency electric and magnetic fields 302

3619S92411

Investigation of leukemia development in predisposed animal models exposed to magnetic fields 305
3620S92410

Feasibility study for an interdisciplinary study on the association between environmental as well as genetic risk factors and risk of childhood B-cell acute lymphoblastic leukaemia in Germany 308
3620S92412

4. Research projects initiated in 2020 of which results are not available yet

<i>Exploring Citizen Science to obtain data on indoor radon concentrations</i>	312
3621S12230	
<i>Investigation of the dependence of radon concentration in soil gas in 1 meter depth on weather parameters for soils with different gas permeabilities and utilisation history</i>	313
3621S12240	
<i>Development of a test concept for ensuring radiation protection during the operation of ultrashort pulse lasers</i>	314
3620S22373	
<i>Validation of genetic loci, which influence lung cancer risk in dependence from Radon exposition - genetic typing</i>	315
3621S32220	
<i>Evaluation of the breast cancer mortality in the German mammography-screening-program</i>	316
3621S42410	
<i>Development of an AMS-System for Radiological Characterization of Activated Reactor-Components for Decommissioning and Clearance</i>	317
3621E03520	
<i>Further development of the atmospheric radionuclide transport model ARTM to process complex and realistic wind and turbulence fields for a more realistic modelling of emitted radioactive substances into the environment</i>	318
3621S52510	
<i>Verification of the new BfS dose model DARTM with regard to the air pathway for exposure calculations according to the valid AVV activities</i>	319
3621S52520	
<i>Support of the RLZ emergency exercises</i>	320
3621S62560	
<i>Conduct of a representative survey on “What does Germany think about radiation? Survey 2021”</i>	321
3621S72210	
<i>Revision of technical radiation protection standards in the range of the Materials Testing Standards Committee (NMP) and from the working group K967 of the DKE</i>	322
3621S72340	
<i>Assessment of exposure to electromagnetic fields caused by electromobility</i>	323
3620S82473	
<i>Development an refinement of dosimetric models for analysis and assessment of human exposure</i>	324
3621SNA201	
<i>Human perception thresholds and underlying mechanisms in static and low-frequency electric fields</i>	325
3621SNA401	
Abbreviations	332

1. ZUSAMMENFASSUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) vergibt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) 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 BMUV-Resortforschungsplans, die im Jahr 2021 erzielt wurden.

1.1 Vorbemerkung

Der Schutz von Mensch und Umwelt vor den Gefahren der ionisierenden und nichtionisierenden Strahlung ist eine zentrale Aufgabe des BMUV 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 sind 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 (Resortforschung).

1.2 Einführung

Im Folgenden werden alle **Themenbereiche** (TB) der Strahlenschutzforschung näher erläutert, auch wenn 2021 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 Dosismessung. 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.

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 BMUV-Umweltforschungsplan. 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 sind die Ermittlung und Optimierung von Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung von Störfällen und Unfällen ständige Aufgaben 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. Die Vorhaben, die sowohl vom Bundesumweltministerium als auch den Betreibern der Mobilfunknetze in Deutschland finanziert wurden, wurden allein vom BfS vergeben und fachlich betreut, so dass interessensgesteuerte Einflüsse ausgeschlossen waren. Ein ähnliches Programm wurde für den **Stromnetzausbau** initiiert.

1.3 Zusammenfassung der Forschungsergebnisse 2021

Im Folgenden wird über Ergebnisse im Jahr 2021 abgeschlossener Forschungsvorhaben berichtet.

THEMENBEREICH 01 - NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Das Bundesamt für Strahlenschutz führt eine Kohortenstudie mit ca. 64 000 ehemaligen Beschäftigten der Firma Wismut durch. Im fünften Mortalitäts-Follow-up der Wismut-Kohorte „**Fünftes Mortalitäts-Follow-up (Todesursachen-Recherche) der Kohorte von ca. 60 000 Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2018“ (3618S12222)** wurden für 28 638 Kohortenmitglieder, die im vierten Follow-up als lebend ermittelt wurden, der Vitalstatus und für Verstorbene die Todesursache zum Stichtag 31.12.2018 ermittelt. Für die Erhebung des Vitalstatus wurden Melderegisteranfragen bei den zuständigen Einwohnermeldeämtern (EMA) eingeholt. 23 978 Personen (83,7 %) wurden als lebend ermittelt. 0,3 % der im fünften Follow-up zu recherchierenden Personen konnte nicht nachverfolgt werden, da sie im Melderegister nicht zu ermitteln waren, ins Ausland oder unbekannt verzogen sind. Für die 4 583 (16,0 %) als verstorben gemeldeten Personen wurde die Todesursache über Anfragen bei den zuständigen Gesundheitsämtern (GA) eruiert. Alle eingegangenen Rückmeldungen wurden geprüft, ob sie korrekt dem jeweiligen verstorbenen Kohortenmitglied zugeordnet wurden, und nach ICD-10 verschlüsselt. 40 angefragte Totenscheine waren beim GA nicht auffindbar oder nicht mehr archiviert. 99,1 % der Todesursachen wurden ermittelt.

Im Forschungsvorhaben „**Wirkung staatlicher Fördermaßnahmen auf die Umsetzung von Radonsanierungsmaßnahmen im Wohnbereich - eine Potenzialanalyse“ (3620S12282)** wurde herausgearbeitet,

inwieweit ein staatliches Förderprogramm für Radonsanierungen von Wohngebäuden mit erhöhten Radonaktivitätskonzentrationen in der Innenraumluft, insbesondere in Radonvorsorgegebieten, zu zusätzlichen Radonsanierungen führen würde. Die eingesetzten Methoden umfassten eine Literaturanalyse, Expert*inneninterviews, Interviews mit Wohngebäudeeigentümer*innen und ein Fachgespräch. Es wird geschätzt, dass ein Förderprogramm jährlich rund 2 000 bis 22 000 zusätzliche Radonsanierungen in Deutschland hervorrufen kann. Erforderlich wäre eine kontinuierliche, aktive Informationsarbeit zum Thema Radon in Wohnräumen. Die Wirksamkeit des Förderprogramms hängt maßgeblich davon ab, inwieweit Radonmessungen in großer Zahl unterstützt und unabhängige, kompetente Beratungen für Wohngebäudeeigentümer*innen angeboten werden.

THEMENBEREICH 02 - STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Die Erzeugung von Röntgenstrahlung bei der Ultrakurzpuls-Lasermaterialbearbeitung ist von einer Vielzahl von Laser-, Prozess- und Materialparametern abhängig, die sich zum Teil gegenseitig beeinflussen. Die Röntgenemission im keV-Bereich wird durch die Resonanzabsorption dominiert, wofür die Laser-Bestrahlungsstärke, Laser-Pulsdauer, der Laser-Einfallswinkel und der Laser-Polarisationszustand von wesentlicher Bedeutung sind. In Abhängigkeit von diesen Parametern und vom Werkstück kann die emittierte Röntgendosisleistung um mehrere Größenordnungen variieren. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „**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**“ (3619S22370) wurden Strahlenschutzszenarien für den Routinebetrieb in der Lasermikromaterialbearbeitung sowie verschiedene Unfallszenarien entworfen. Bei den Unfallszenarien wurde von einem Betrieb der Lasermaterialbearbeitungsanlage mit Routineparametern ausgegangen. Die Berechnungen für den Routinebetrieb sowie für verschiedene Unfallszenarien unter Routinebearbeitungsbedingungen zeigten, dass Einhausungen aus Stahl für die Gewährleistung des Strahlenschutzes in der Lasermaterialbearbeitung ausreichend sind. Andere Abschirmmaterialien wie Aluminium sollten dagegen nicht oder nur bei Einhaltung eines ausreichenden Abstandes zum Bearbeitungspunkt eingesetzt werden.

THEMENBEREICH 03 - STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER UND NICHTIONISIERENDER STRALUNG, STRAHLENEMPFLINDLICHKEIT

Ionisierende Strahlung ist ein akzeptierter Risikofaktor für die Leukämie-Entstehung im Kindesalter. Allerdings ist die Bedeutung schwacher ionisierender Strahlung im Niedrigdosisbereich noch unklar. Ziel des Forschungsvorhabens „**Einfluss von Niedrigdosisstrahlung auf die Leukämieentwicklung bei genetischer Prädisposition in einem Mausmodell**“ (3618S32274) war es, experimentell im *Sca1-ETV6-RUNX1*-Mausmodell, das die häufigste bei Kinder anzutreffende präleukämische Gentranslokation *ETV6-RUNX1* trägt, zu prüfen, ob die Exposition mit Niedrigdosisstrahlung onkogene Mutationen (als sogenannten zweiten „Hit“) verursachen kann. Vorläufer-B-Zell akute lymphatische Leukämien (pB-ALL) entstanden bei *Sca1-ETV6-RUNX1*-Mäusen, die im Alter von vier Wochen einmalig mit einer exakten Dosis von mindestens 0,5 Gy aus einer Gammastrahlenquelle (*Cs-137*) bestrahlt wurden (0,5 Gy, n=3/30; 2 Gy, n=4/30). Expositionsbedingte somatische Mutationen in diesen pB-ALL betrafen (1) Hot-Spot-Regionen in bekannten Krebsgenen (*Jak1, Jak3, Ptpn11, Kras*), (2) Gene, die auch in humaner *ETV6-RUNX1*-positiver pB-ALL mutiert waren (*Atm, Sh2b3, Ptpn11, Kras*), (3) ALL-Prädispositionsgene (*Sh2B3, Ptpn11*), (4) andere bekannte Krebsgene. Auf Grund der geringen Zahl an Tumoren und somatischen SNV konnte keine spezifische strahleninduzierte Mutationssignatur identifiziert werden. Größere Kohorten oder Mausmodelle mit einer höheren Tumorentstehung könnten zukünftig zusammen mit Ganz-Genom-Sequenzierung und ergänzenden Omics-Analysen größere Datensätze generieren und ein umfassendes Bild von spezifischen t(12;21)-assoziierten sekundären genomischen Veränderungen als Folge von Bestrahlung liefern.

Die pädiatrische akute lymphatische Leukämie (ALL) ist häufig charakterisiert durch die präleukämische chromosomale Translokation t(12;21), die bereits vor der Geburt auftritt und zur Bildung des chimären Transkriptionsfaktors *ETV6-RUNX1* führt. Für die Entstehung einer Leukämie sind weitere genetische Aberrationen notwendig. Die Häufigkeit, mit der *ETV6-RUNX1*-positive präleukämische Zellen bei Neugeborenen auftreten, ist noch unklar. In einem Pilotprojekt des BMUV/BfS wurde eine auf stabiler DNA basierte Methode zum Nachweis präleukämischer Translokationen (genomisch inverse PCR für die Erfassung von ligierten Bruchpunkten, abgekürzt: GIPFEL) entwickelt. In einem ersten retrospektiven Screening von 1 000 gesunden Neugeborenen zeigten 5 % *ETV6-RUNX1*-positive Signale. Um dieses Ergebnis in einer erweiterten Kohorte zu prüfen, wurden im Projekt „**Bestimmung der Frequenz präleukämischer Translokationen in Nabelschnurblut**“ (3618S32275) weitere 1 405 Nabelschnurblutproben untersucht. Von diesen waren 103 (7,3 %) *ETV6-RUNX1*-positiv. Die Studie bestätigte die hohe Inzidenz von *ETV6-RUNX1*-positiven präleukämischen Zellen bei gesunden Neugeborenen und damit die hohe Zahl an prädisponierten Kindern in der Bevölkerung. Daher kommt dem Einfluss umweltbedingter oder spontan auftretender kooperierender onkogener Läsionen eine besondere Bedeutung bei der Entstehung der *ETV6-RUNX1*-positiven Kinderleukämie zu.

THEMENBEREICH 04 - MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Die für die Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm technisch konzipierten Verfahren zur Datensammlung und -haltung konnten in der Hauptstudie I des Vorhabens „**Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm (Mortalitätsevaluation) - 1. Teil der Hauptstudie**“ (3617S42402) erfolgreich implementiert werden. Infolgedessen konnte im kassenbasierten Ansatz ein Testdatenfluss mit simulierten Daten in die kassenbasierte Daten zusammenführende Stelle erfolgen. Auch ein direkter Todesursachenabgleich wurde erfolgreich durchgeführt. Im bevölkerungsbasierten Ansatz konnte nach der Verknüpfung der von den verschiedenen Datenhaltern bereitgestellten Informationen ein Teildatensatz in der Evaluierenden Stelle abgerufen werden.

Parallel dazu wurden alle Auswertungskonzepte durch die Expertise im Konsortium und unter Berücksichtigung der zunehmenden Forschungserkenntnisse weiterentwickelt und ergänzt. Außerdem wur-

den Möglichkeiten zur Verknüpfung von Daten beider Ansätze eruiert sowie die möglichen Umsetzungen einschließlich Vor- und Nachteilen diskutiert.

Eine Pilotierung des entwickelten Vorhabens im ergänzenden Ansatz der klinischen Krebsregisterdaten war auf Grund einer bis zum Laufzeitende fehlenden Genehmigung nicht möglich. Ein Testdatenfluss konnte aber die grundsätzliche Überführbarkeit des Forschungskonzepts in die Praxis zeigen.

Um die langfristige Wirkung des Mammographie-Screening-Programms auf die Brustkrebsmortalität in der Zielbevölkerung in Deutschland zu evaluieren, wurde das Forschungsvorhaben **„Daten-, Prozess- und Auswertungsaudits im Zuge der Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm (MSP)“ (3619S42460)** („Mortalitätsevaluation“) durchgeführt. Zur Sicherstellung der Qualität in der Hauptstudie I (2018-2021) sollten zwei Daten-, Prozess- und Auswertungsaudits durchgeführt werden. Ziel des ersten Daten- und Prozessaudits war die Feststellung des Status quo und des Konformitätsgrades von Aktivitäten, Prozessen und Dokumentationen bezüglich der Auditkriterien beim Generalunternehmer und seinen Unterauftragnehmern. Im zweiten Audit standen die Beurteilung der Umsetzung der Empfehlungen aus dem ersten Audit, die weitere Erhebung des Status quo sowie die Beurteilung des internen Qualitätssicherungsplans des Generalunternehmers im Vordergrund. Zudem erfolgte ein Testlauf der bisher eingesetzten Softwaremodule. Auch wenn Daten und Auswertungen noch nicht beurteilbar waren, konnten sich die Auditoren davon überzeugen, dass zahlreiche Maßnahmen zur Qualitätssicherung ergriffen wurden und ein Monitoring der Qualität stattfand. Die durchgeführten Qualitätssicherungsmaßnahmen waren geeignet, frühzeitig Fehler zu erkennen.

Die 3D-Diagnostik mit Cone-Beam-Computertomographie (CBCT)-Geräten gewinnt zunehmend an Bedeutung. Aktuell ist es nicht möglich, die Dosis in CT- und CBCT-Untersuchungen abzugleichen, da die beiden Geräteklassen unterschiedliche technische Dosisindizes verwenden. Im Rahmen des Vorhabens **„Konzept zur Umrechnung dosisrelevanter Parameter in der digitalen Volumentomographie“ (3619S42462)** wurden messtechnisch und simulativ über unterschiedliche Ansätze Konversionsfaktoren zwischen den beiden Dosisindizes ermittelt. Es zeigte sich, dass mit vertretbarer Unschärfe geräte- und körperbereichsunabhängig einheitliche Konversionsfaktoren für Untersuchungen im Kopf- bzw. Körperstammbereich angenommen werden können. Die Ergebnisse ermöglichen unter gewissen Rahmenbedingungen eine konsistente Festlegung von diagnostischen Referenzwerten in der CT- und CBCT-Diagnostik. Gleichwohl verbleiben offene Fragen, insbesondere bezüglich der praktischen Umsetzbarkeit der entwickelten Ansätze, die einer weitergehenden Betrachtung bedürfen.

THEMENBEREICH 05 - RADIOÖKOLOGIE

2021 wurde in diesem Themenbereich kein Vorhaben abgeschlossen.

THEMENBEREICH 06 - NOTFALLSCHUTZ

Im Rahmen des Vorhabens **„Integration des atmosphärischen Ausbreitungsmodells FLEXPART in RODOS zur Erweiterung der Möglichkeiten der inversen Modellierung zur Quellort- und Quelltermbestimmung auf der Grundlage von Messdaten“ (3619S62500)** wurde das atmosphärische Transport- und Ausbreitungsmodell FLEXPART in das Entscheidungshilfesystem RODOS/JRODOS integriert. Die Arbeiten beinhalteten die Erstellung einer einheitlichen Datenbasis für FLEXPART, die Ankopplung an die meteorologischen Prognosedaten des Deutschen Wetterdienstes sowie die Entwicklung einer graphischen Benutzeroberfläche für FLEXPART als Teil des JRODOS Systems. Nach intensiven Tests wurde die praktische Anwendbarkeit bestätigt. Damit unterstützt JRODOS die inverse Modellierung zur Bestimmung von Quellorten und Quelltermen durch die Möglichkeit von atmosphärischen Vorwärts- und nun auch Rückwärtsrechnungen.

Im Fall eines überregionalen radiologischen Notfalls richtet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) gemäß Strahlenschutzgesetz (StrlSchG, § 106 und § 108) ein radiologisches Lagezentrum des Bundes (RLZ) ein. Das RLZ hat unter anderem die Aufgabe, das radiologische Lagebild (RLB) zu erstellen (§ 106 StrlSchG). Das RLB bildet für Bundes-, Landes- und Katastrophenschutzbehörden die radiologische Grundlage zur Einschätzung und Bewältigung eines radiologischen Notfalls und wird dabei von radiologischen Experten und Laien gleichermaßen genutzt. Ziel des Forschungsvorhabens „**Überprüfung und Weiterentwicklung des radiologischen Lagebildes als Grundlage für Information und Kommunikation im radiologischen Notfallschutz**“ (3619S62580) war es, das radiologische Lagebild auf seine Nutzbarkeit für diesen heterogenen Empfängerkreis zu überprüfen und, basierend auf den existierenden technischen Voraussetzungen, zu verbessern. Im Fokus stand dabei die Erhebung von Verständlichkeit und Effektivität textlicher und grafischer Informationen für Nutzer mit und ohne radiologische Expertise. Dafür wurde zunächst der Stand von Forschung und Technik im Hinblick auf effektive radiologische Lagebilder recherchiert. Danach wurde anhand von Interviews mit Nutzer*innen des RLB und einem Plangespräch ein umfassender Vorschlag zur Optimierung des RLB erarbeitet.

Im Vorhaben „**Unterstützung der RLZ-Kopfstelle beim BMUV und des Lagezentrums BfS-Neuherberg bei RLZ-Notfallübungen**“ (3619S62581) wurde der von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) in mehreren Vorläufervorhaben erarbeitete Szenarienkatalog für behördliche Notfallschutzübungen fortgeschrieben. Für zwei Notfallübungen des RLZ wurden zunächst Szenarien erstellt und Unterstützung bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung geleistet. Als Teil des RLZ des Bundes nahm auch das GRS Notfallzentrum aktiv an den Übungen teil. Darüber hinaus wurde auf Grundlage einer früheren Notfallübung eine Planbesprechung für den neu gegründeten Stab K (Kommunikation) der Kopfstelle des RLZ im BMUV vorbereitet und durchgeführt. Ziel der Besprechung war, Unterstützung bei der Festlegung des Arbeitsbereichs und der Arbeitsabläufe des Stabes K innerhalb der Kopfstelle zu leisten.

THEMENBEREICH 07 - VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Ziel des Vorhabens „**Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition bei der mobilen Radiographie** (3617S72382)“ waren eine detaillierte Analyse des Umgangs mit radioaktiven Quellen der mobilen Radiographie und Identifizierung der Dosisoptimierungsmöglichkeiten zum Schutz des Personals. Zunächst wurde eine Umfrage durchgeführt, um einen Überblick über die verwendeten Geräte, Anzahl der strahlenexponierten Mitarbeiter*innen, Arbeitsabläufe, Strahlenschutzmaßnahmen und das Notfallmanagement zu erlangen. Außerdem wurden aktuelle Gesetze, Verordnungen und Richtlinien für den Betrieb und die Beförderung der Geräte dargestellt sowie die Dosisdaten von Mitarbeiter*innen der Radiographie-Betriebe in Bezug auf Strahlenquellen, Methoden und Arbeitsabläufe wurden erhoben. Um eine bessere Interpretation der erfassten Personendosisdaten zu ermöglichen, wurden exemplarische Aufnahmen des Strahlenfeldes in der Umgebung von mobilen Strahlenquellen während der Anwendung vorgenommen. Des Weiteren erfolgte die Auswertung der besonderen Vorkommnisse im Zeitraum von 2010 bis 2017 sowie die Darstellung der Planungen für Störungen und Unfälle, die in den Betrieben der mobilen Radiographie vorgesehen sind. Der Fokus des AP 5 lag auf der Analyse der dosimetrischen Daten in Bezug auf die Wirksamkeit und Angemessenheit der regulatorischen Anforderungen. Die im Rahmen des AP 3 erhobenen Daten wurden im Hinblick auf Dosisoptimierungsmöglichkeiten und auch auf die entsprechenden guten Vorgehensweisen (best practice) analysiert.

Die Kenntnis der Aktivitätsverteilung als Funktion des aerodynamischen Partikeldurchmessers ist maßgeblich für die Berechnung der Individualdosen für Personen der Bevölkerung als Auswirkung der Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen. Dieser Aspekt wurde in der „**Studie zu Aktivi-**

täts- und Partikelgrößenverteilungen im Nano- und Millimeterbereich in der Fortluft kerntechnischer Anlagen mit und ohne Vollfilterung“ (3617S72572) vor dem Hintergrund von gegenüber der Betriebsphase veränderten Betriebszuständen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen experimentell untersucht (Wegfall des Leistungsbetriebs, Anwendung von Dekontaminations- und Zerlegeverfahren). Die Verteilung der Partikelmassen und der Aktivitäten auf die jeweiligen Partikelgrößenklassen wurde in der Stilllegungsphase zweier deutscher Kernkraftwerke gemessen. Die Partikelgrößenverteilung wurde bei aerodynamischen Partikeldurchmessern zwischen wenigen Nanometern und mehr als 10 µm untersucht, jeweils am Aerosolentstehungsort ohne Filterung, in der durch Vorfilterung gereinigten Abluft sowie in der durch Vollfilterung gereinigten Fortluft. Diese Vorgehensweise ermöglichte eine Bewertung der Filterwirkung durch den Vergleich der Partikelkonzentrationen vor und hinter den Filteranlagen.

Die gravimetrischen Messungen ergaben durchweg bimodale Verteilungen der Partikelmassenkonzentration, die bei größeren Partikeldurchmessern mit der Aktivitätskonzentrationsverteilung annähernd übereinstimmte. Dabei stießen die radiologischen Messverfahren bei der Bestimmung der Aktivitätsverteilung bei aerodynamischen Durchmessern unterhalb von 2,5 µm allerdings an ihre Grenzen. Die Messungen belegten durchweg die sehr effektive Filterwirkung der Vollfilterung.

Im Rahmen des Vorhabens „**Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG und standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle“ (3618S72392)** wurden die tätigkeitsbezogenen Strahlenexpositionen in Anlagen nach AtG und standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle erhoben und bewertet. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass sich die Kollektivdosis der in Betrieb bzw. Nachbetrieb befindlichen Anlagen in den letzten Jahren auf einem niedrigen Niveau stabilisiert hat. Der Rückbau der in Stilllegung befindlichen Anlagen lässt sich mit deutlich niedrigeren Jahreskollektivdosen im Vergleich zum Leistungsbetrieb durchführen. Hier hat sich in den letzten Jahren gezeigt, dass sich mit der Durchführung einer Primärkreisdekontamination vor Beginn des Rückbaus diese weiter reduzieren lässt. Die Gesamt-Jahreskollektivdosis aller Anlagen der Ver- und Entsorgung liegt in den letzten sechs Berichtsjahren (2014 bis 2019) auf einem relativ konstanten Niveau und deutlich unterhalb der Gesamt-Jahreskollektivdosen der Kernkraftwerke in Betrieb. Darüber hinaus wurden im Vorhaben Fragen im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz ausländischen Fremdpersonals in deutschen Kernkraftwerken bearbeitet, um einen Beitrag zum grenzüberschreitenden Strahlenschutz zu leisten.

Zur Erfassung verhältnispräventiver UV-Schutzmaßnahmen in Außenbereichen von Kindertagesstätten (mit Betreuung von Kindern unter und über drei Jahren sowie Horte) und Schulen (Grundschulen, weiterführende Schulen sämtlicher Schularten, berufliche Schulen sowie Förderschulen) wurde eine epidemiologische Querschnittstudie mit zwei Stichproben realisiert. Zu diesem Zweck wurde eine „**Repräsentative Umfrage zur deutschlandweiten Erfassung verhältnispräventiver Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen bei Kindertagesstätten und Schulen“ (3619S72401)** durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte online mit Hilfe eines Fragebogens. Befragt wurden die Leitungen der Einrichtungen. Knapp 2 % aller Kindertagesstätten und über 2 % aller Schulen Deutschlands konnten rekrutiert werden. Die Stichproben waren repräsentativ im Hinblick auf die Trägerschaft (Kindertagesstätten) bzw. Schularten. Es zeigte sich, dass im Vergleich zu Schulen Kindertagesstätten bedeutsam häufiger über Sonnenschutzmaßnahmen im Außenbereich (99,1 % vs. 82,0 %; $p < 0,001$) verfügten und eine signifikant größere Außenfläche beschatten konnten (42,5 % vs. 26,0 %; $p < 0,001$). Außerdem fiel die Zufriedenheit mit den Sonnenschutzmaßnahmen bedeutsam höher aus (60,6 % vs. 39,1 %; $p < 0,001$). Eine Abschätzung bezüglich der Frage, ob der gegebene Schatten als ausreichend angesehen werden könnte, ergab, dass bei rund 45 % der Schulen und bei rund 10 % der Kindertagesstätten ein unzureichender UV-Schutz angenommen werden muss. Schulen ohne Primarstufe hatten im Vergleich zu allen anderen Bildungseinrichtungen am seltensten UV-Schutzmaßnahmen im Außenbereich.

Im Rahmen des Vorhabens „**Erfassung des Umgangs der deutschen Bevölkerung mit Radon als Grundlage für Risikokommunikation und Stärkung des Schutzverhaltens**“ (3620S72211) wurde mit Hilfe einer empirischen Studie die Wahrnehmung von Radon in der Bevölkerung untersucht. In der Bevölkerung ist Radon rund 30 % bekannt und weitere 35 % glauben, davon schon einmal gehört zu haben, aber nur 23 % wissen, dass man die Radonkonzentration in Gebäuden messen kann. Erfahrungen mit einer Radonmessung haben nur 2 %. Das eher geringe Wissen zu Radon führt zu einer Unterschätzung der Gesundheitsrisiken. Nur 6 % schätzen das gesundheitliche Risiko für sich selbst als (sehr) hoch ein und nur 4 % bezeichnen es im Vergleich zu anderen Faktoren als größte Gesundheitsgefahr. Insgesamt steigt die Bereitschaft, sich zu schützen, deutlich mit der Konkretisierung der Exposition - wenn eine erhöhte Radonkonzentration in den Wohnräumen gemessen werden würde, dann würden rund 90 % der Befragten darauf reagieren, sei es mit einer Informationseinholung, einem ärztlichen Check-up oder besserem Lüften der Wohnräume. Um Menschen mit Informationen zum Thema Radon erreichen zu können, ist das Vertrauen in den Absender entscheidend. Öffentliche Institutionen genießen bei 69 % ein (sehr) hohes Vertrauen. Die erste Anlaufstelle für eine aktive Informationssuche ist für 63 % das Internet. Da öffentliche Institutionen und Behörden ebenfalls zentrale Anlaufstellen darstellen, sollten die online angebotenen Informationen einfach zugänglich sein. Für die Gestaltung der Kommunikationsbotschaften konnte gezeigt werden, dass die Kontextualisierung zu einer Erhöhung der Verhaltensintention führt, ebenso wie Hinweise auf ein erhöhtes Lungenkrebsrisiko und das Aufzeigen von Handlungsoptionen (z. B. wo kann man ein Messgerät bestellen etc.). Eine Kommunikationsstrategie, die mehrere Medien kombiniert, unter Einbezug der BfS-Website, hat sich sowohl in den qualitativen Gesprächen wie auch im quantitativen Test der Informationsbausteine als am erfolgversprechendsten erwiesen.

Social-Media-Plattformen, insbesondere Twitter, spielen für die Informationssuche der Bevölkerung im Rahmen der Covid-19-Pandemie eine entscheidende Rolle. Basierend auf dem Social-Media-Framework wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens „**Eine vergleichende Evaluation der Online-Krisenkommunikation von Behörden und unabhängigen Expert*innen im Zuge der Covid-19 Pandemie als Grundlage für die Verbesserung der BfS-Krisenkommunikation - Los 2**“ (3620S72216) eine quantitative Textanalyse mit Inhalts-, Sentiment- und Trendanalyse sowie eine soziale Netzwerkanalyse von Covid-19-Tweets durchgeführt. Dabei wurden insgesamt 40 Twitter-Accounts untersucht. Die deskriptive Analyse zeigte, dass das Twitter-Verhalten von Behörden und unabhängigen Expert*innen in Deutschland grundlegend verschieden ist. So zeichnete sich die Kommunikation der Expert*innen durch einen höheren Anteil an Freund*innen und Followern aus. Die Covid-19-Krisenkommunikation der Expert*innen wurde stärker von den Twitter-Usern wahrgenommen und verbreitet als die der Behörden. Die Twitter-Aktivität verlief parallel zu den Zahlen der Covid-19-Neuinfektionen in Deutschland. Hashtags und Mentions wirkten in Tweets für beide Gruppen negativ auf die Tweet-Verbreitung in der Krise. Auf den Erfolg der Tweet-Verbreitung wirkte es sich hingegen positiv aus, wenn die Schwere der Krankheit, technische Informationen, z. B. über die Verbreitung des Virus, oder soziale Auswirkungen thematisiert wurden. Mit der Sentimentanalyse wurden die Tweets hinsichtlich der Emotionalität untersucht. Expert*innen twitterten (im Zeitverlauf abnehmend) negativer. Behörden twitterten über den Sommer 2020 nahe der Neutralität. Aus der sozialen Netzwerkanalyse ging u. a. hervor, dass es Akteur*innen gibt, auf die häufig (in Form von Mentions und Retweets) verwiesen wurde. Dies sind in der Regel auch Akteur*innen, denen wichtige Aufgaben in der Pandemiebekämpfung zufallen. Andererseits gibt es Akteur*innen, die häufig auf andere verweisen, ohne dass zwangsläufig auf sie verwiesen wurde. Insofern lassen sich Akteur*innen identifizieren, die reziproke Verbindungen aufweisen und solche, die eher einseitig kommunizieren.

Immer wieder werden gefährliche Blendattacken auf Flugzeug- oder Fahrzeugführer*innen mit leistungsstarken optischen Strahlungsquellen durchgeführt. Damit einher geht die Gefahr, dass es Folge der Blendung zu Seheinschränkungen oder Ablenkungen und in weiterer Konsequenz zu Unfällen kommen kann. Insbesondere bei Attacken mit Laserquellen besteht bei den angestrahlten Personen

zudem das Risiko, Augenschäden zu erleiden. Vor diesem Hintergrund wurde im Projekt **„Blendattacken und Augenschädigungen durch Laser und andere starke optische Strahlungsquellen“ (3620S72410)** eine Erhebung bei öffentlichen und medizinischen Institutionen durchgeführt, um Aufschluss über Anzahl und Details zu Vorfällen und Attacken mit Laserpointern oder anderen starken optischen Strahlungsquellen zu bekommen. Auf Basis dieser Ergebnisse werden mit den Attacken verbundene Risiken aufgezeigt sowie Hochrechnungen und Trendanalysen durchgeführt. Darüber hinaus werden die rechtliche Situation analysiert und Ansätze zur Minimierung derartiger Risiken durch mögliche Maßnahmen diskutiert.

THEMENBEREICH 08 - NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Das Projekt **„Bewertende Literaturstudie zum Auftreten, zur Ausbreitung und zu gesundheitlichen Auswirkungen von ionisierten Schadstoffpartikeln in der Umgebung von Starkstromleitungen“ (3618S82453)** untersuchte den Stand der Wissenschaft zur Quantifizierung der Konzentrationen von Ionen und geladenen Partikeln in der Luft nahe Hochspannungsleitungen sowie zu daraus resultierenden gesundheitlichen Implikationen. Einige Aspekte der Problematik sind sowohl theoretisch gut verstanden als auch experimentell umfassend validiert; dies betrifft insbesondere die maximalen Ionenkonzentration, welche windabwärts vor allem von Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen (HGÜ) auftreten können, oder die aerodynamische Deposition geladener Partikel in Lunge und Atemtrakt. In anderen Bereichen besteht noch Forschungsbedarf. Es existieren insbesondere bislang kaum Messungen der Größenverteilungen geladener Partikel in der Luft – nicht nur windabwärts von Hochspannungsleitungen, sondern auch in anderen potentiell relevanten Bereichen, etwa bei Verkehrsemissionen. Trotz einiger Unsicherheiten kann eingeschätzt werden, dass beim momentanen Stand der Wissenschaft eine signifikante Gesundheitswirkung von Ionen oder geladenen Partikeln ausgeschlossen werden kann (sofern sich deren Konzentration im für die Umgebung von Hochspannungsleitungen typischen Bereich bewegt). Diese Studie bekräftigte damit im Wesentlichen die Ergebnisse entsprechender vorhergehender Reviews.

Das Forschungsvorhaben **„Berücksichtigung aktueller Mobilfunkantennentechnik bei der HF-EMF-Expositionsbestimmung (3619S82463)“** befasste sich mit der messtechnischen Erfassung von Immissionen durch 5G-Basisstationen mit Beamforming-Antennen. Hierbei war das zeitveränderliche Abstrahlverhalten der Antennen geeignet zu berücksichtigen. Immissionsmessungen an 100 systematisch ausgewählten Messpunkten im Umfeld von zehn 5G-Basisstationen im 3,6-GHz-Band ergaben maximale Immissionen zwischen 0,2 % und 28,9 % des Feldstärkegrenzwerts der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) (Median 4,7 %). Die Momentanimmissionen ohne provozierten Verkehr lagen zwischen 0,04 % und 1,1 % (Median 0,08 %). Die Immissionen bei typischer Nutzung (ARD-Livestream) durch einen Nutzer am Immissionsort lagen nur unwesentlich höher zwischen 0,04 % und 1,3 % des Feldstärkegrenzwerts (Median 0,2 %). Sofern der Beam nicht am Immissionsort einwirkte, sondern azimuthal oder radial um mehrere zehn Meter verschoben wurde, kam es zu erheblichen Reduktionen der Immission.

Am Kompetenzzentrum Schlafmedizin der Charité Berlin wurden seit 2004 insgesamt vier vom Bundesamt für Strahlenschutz beauftragte experimentelle Laborstudien an Proband*innen unterschiedlichen Alters und Geschlechts zu einer möglichen Einflussnahme von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) auf die Aktivitäten des Gehirns durchgeführt. Ziel des Forschungsprojekts **„Detaillierte vergleichende Analyse der Alters- und Geschlechtsabhängigkeit des Einflusses hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit“ (3619S82465)** war es, eine Gesamtbetrachtung dieser Studienergebnisse vorzunehmen und zu prüfen, ob sich der Einfluss von HF-EMF auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit bei älteren Männern und Frauen sowie im Vergleich älterer und jüngerer Männer unterschei-

det. Zunächst musste die Vergleichbarkeit der Daten zwischen den vier Studien sichergestellt werden. Dafür war eine Reihe von Neuauswertungen von bereits vorliegenden Daten sowie eine erneute Bestimmung einiger Ergebnisparameter notwendig. Anschließend erfolgte die statistische Analyse mittels zweier unterschiedlicher Verfahren (paarweiser und varianzanalytischer Auswertungsansatz). Die vorliegende Auswertung hat gezeigt, dass für jede der fünf Untersuchungsebenen (Makrostruktur des Schlafes inklusive subjektiver Bewertung, Powerspektralwerte des Schlaf-EEGs und Wach-EEGs, elektrophysiologische sowie behaviorale Ergebnisparameter im Zusammenhang mit Kognition) unabhängig von der Exposition eine ganze Reihe von Geschlechts- und Altersunterschieden festgestellt werden konnten. Geschlechts- bzw. altersunabhängige Expositionseffekte sowie geschlechts- bzw. altersspezifische Expositionseffekte ließen sich zwar auch für jede der fünf Untersuchungsebenen beobachten, waren aber deutlich seltener. Insgesamt lassen sich aus den beobachteten physiologischen Unterschieden keine Hinweise auf gesundheitliche Beeinträchtigungen durch eine akute Exposition ableiten.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „**Sichtweisen der Bevölkerung auf den 5G-Mobilfunkstandard und dessen kommunikative Darstellung**“ (3620S82471) wurden in einer kombinierten qualitativen und quantitativen Studie (Literaturrecherche, qualitative Interviews und Gruppendiskussionen, bevölkerungsrepräsentative Computer Assisted Telephone Interview (CATI)-Befragung) Wissen, Wahrnehmung, Risikoempfinden, Schutzverhalten sowie Informationsbedarf zum Mobilfunkstandard 5G in Deutschland erhoben. Als Ergebnis zeigte sich, dass zwar die begriffliche Kenntnis zu 5G sehr hoch ist, aber der Grad der Informiertheit, Risikowahrnehmung und Nutzenempfinden sowie damit zusammenhängender Informationsbedarf sich stark unterscheiden: Es ergeben sich insgesamt vier maßgebliche, statistisch repräsentative Segmente: „Gleichgültige“, „Informiert Besorgte“, „Gemäßigt Interessierte“ sowie „Informiert Unbesorgte“. Im Zeitvergleich wird deutlich, dass die Sorge vor elektromagnetischer Strahlung im Zusammenhang mit Mobilfunk allgemein zurückgeht. In Bezug auf 5G als neuer Mobilfunkstandard zeigt sich aber, dass der Anteil, der sich gesundheitliche Sorgen macht, etwas höher liegt und Informationen rund um das Thema 5G von mehr als einem Drittel als (sehr) wichtig betrachtet werden.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „**Mobilfunkkonflikte aus der Vergangenheit als Lehrbeispiel für die Kommunikation über 5G**“ (3620S82476) wurde die Frage untersucht, inwieweit heutige Konflikte um den Ausbau von 5G eine Wiederholung oder Weiterentwicklung früherer Diskussionen darstellen oder sich neue Argumente, neue Erkenntnisse, veränderte Akteur*innen und neue Diskussionskulturen herausarbeiten lassen. Hierzu wurde eine Vergangenheit-Gegenwart-Kontrastierung vorgenommen, um konkrete Handlungsempfehlungen für eine künftige Konfliktbearbeitung und Konfliktregelung abzuleiten. In der Gesamtschau wird der Bedarf nach schnellem, mobilem Internet weitgehend geteilt, allerdings stellt sich bei 5G die Frage, ob der Ausbau wirklich „für alle“ - also besonders für Privatpersonen - notwendig sei. Brechen konkrete Konflikte aus, in denen Gesundheitsaspekte häufig eine besonders machtvolle Position einnehmen, finden dort immer wieder eine Verhärtung gegensätzlicher Einschätzungen und eine Dichotomisierung statt, die eine Konfliktregelung erschweren. Vor dem Hintergrund teilweise schwer überschaubarer Gemengelagen und komplexer Konfliktreichweiten aus Interdependenzen unterschiedlicher Ebenen nehmen Konfliktintensitäten zu. Grundlegend erweisen sich - damals wie heute - Wissenschafts- und Risikokommunikation in Bezug auf ihr Potenzial, Auslöser von Konflikten aufzugreifen sowie mit Risiken und Unsicherheit umzugehen, als entscheidend.

Das Forschungsvorhaben „**Nutzung von Mobiltelefonen und Verlauf der Gliom-Inzidenz seit 1979**“ (FM8867) untersuchte den Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und dem Risiko für Gliome (häufigster Hirntumor), indem geprüft wurde, ob angenommene Risiken durch hochfrequente elektromagnetische Felder bei tatsächlich beobachteten Gliom-Inzidenzen in Nordeuropa (Dänemark, Finnland, Norwegen, Schweden) plausibel sind. Analytische epidemiologische Studien zu dieser Fragestellung sind nicht konsistent; während Kohortenstudien keinen Zusammenhang zeigten, berichteten eini-

ge - aber nicht alle - Studien mit Fall-Kontroll-Design teilweise erhöhte Risiken. Aufgrund der starken Zunahme der Mobiltelefonnutzung von nur wenigen Personen in den 1980ern zu fast vollzähliger Versorgung mit Mobilfunk heute sollten diese erhöhten Risiken zu einem Anstieg an Gliomen führen. Fazit: Diese Studie mit ökologischen Daten kann zwar ein mögliches Risiko für eine Gliom-Erkrankung nicht grundsätzlich ausschließen. Sie legt aber nahe, dass, wenn ein solches Risiko existiert, es sehr gering wäre, nur nach langer Latenzzeit von mehreren Jahrzehnten bzw. nur bei Untergruppen von Gliom-Patient*innen auftreten würde. Die Simulationsstudie widerspricht den Ergebnissen von Fall-Kontroll-Studien, die erhöhte Risiken durch Mobiltelefonnutzung zeigten, und weist darauf hin, dass die dort bei häufiger Mobiltelefonnutzung beobachteten Risiken mindestens überschätzt wurden. Die Inzidenzraten sind kompatibel mit den Ergebnissen der Kohortenstudien, die keine Risikoerhöhung sehen.

THEMENBEREICH 09 - DEUTSCHES MOBILFUNK FORSCHUNGSPROGRAMM / STROMNETZ-AUSBAU

Damit die Energiewende in Deutschland erfolgreich ist und die Stromversorgung auch in Zukunft bezahlbar bleibt, ist der Ausbau des deutschen Stromnetzes von herausragender Bedeutung. In diesem Zusammenhang wurde das Projekt „**Untersuchung der Möglichkeiten einer Fortbildung von Multiplikatoren in lokalen Behörden (Gesundheitsämter, Amtsärzte und Immissionsschutzämter) für die Risikokommunikation beim Stromnetzausbau**“ (3619S92412) durchgeführt. Während die deutsche Bevölkerung mehrheitlich für den Ausbau erneuerbarer Energien stimmt, ergibt sich beim Ausbau von Übertragungsleitungen vor Ort oft ein anderes Bild. Sorgen und Vorbehalte gegen neue Strommasten in der Nachbarschaft bestimmen vielerorts die Diskussionen. In den Debatten um den Stromnetzausbau werden häufig Befürchtungen herangezogen, dass möglicherweise gesundheitliche Risiken von elektrischen und magnetischen Feldern der Stromleitungen ausgehen.

Besorgte Bürger*innen wenden sich mit offenen Fragen und Sorgen häufig an Akteur*innen aus ihrem unmittelbaren lokalen Umfeld, wie beispielsweise Hausärzt*innen, Lehrkräfte oder Vertreter*innen lokaler Behörden. Vertrauenswürdige Bezugspersonen aus dem lokalen Umfeld könnten somit wichtige Wissensvermittler*innen zum Thema elektrische und magnetische Felder sein und dazu beitragen, Ängste und Unsicherheiten aufzufangen und Wissen und Sicherheiten zum Themenkomplex zu vermitteln.

Das Vorhaben möchte solchen Wissensvermittler*innen Wissen und Fähigkeit an die Hand geben, um den Informationsbedürfnissen der Bürgerinnen und Bürger gerecht zu werden und fundiertes Wissen zu den Auswirkungen elektromagnetischer Felder im Kontext von Stromleitungen zu vermitteln.

1. Summary

On behalf of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection (BMUV) 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 BMUV's Environmental Research Plan for the year 2021.

1.1 Preface

Protecting man and the environment from the risk of ionising and non-ionising radiation is a central responsibility assigned to the BMUV and to the Federal Office for Radiation Protection. 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 2021.

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.

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 BMUV Environmental Research Plan (Umweltforschungsplan). 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. The projects were funded by BMUV as well as by the operators of the German mobile phone network. In order to exclude possible conflicts of interest, the projects were assigned and scientifically overseen solely by the BfS. A similar programme was initiated for the **national grid expansion**.

1.3 Summary of results from research projects in 2021

In the following results of research projects concluded in 2021 will be reported.

SUBJECT AREA 01 - NATURAL RADIATION EXPOSURE

The Federal Office for Radiation Protection is conducting a cohort study of about 64 000 former employees of the Wismut company. In the fifth mortality follow-up of the Wismut cohort "**Fifth mortality follow-up of the cohort of approximately 60 000 former Wismut employees with cut-off date December 31st, 2018**" (3618S12222), information on vital status and for deceased persons causes of death were determined for 28 638 cohort members, who had been identified as "alive" in the fourth mortality follow-up, as of the cut-off date of **December 31st, 2018**. For the vital status survey, civil registration inquiries were obtained from the responsible residents' registration offices (EMA). 23 978 persons (83,7 %) were determined to be alive. 0,3 % of the persons to be searched in the fifth follow-up could not be traced because they could not be determined in the population register, moved abroad or were unknown. For the 4 583 (16,0 %) persons reported as deceased, the cause of death was ascertained by enquiries to the responsible health authorities (GA). All returns received were checked to ensure that they were correctly assigned to the respective deceased cohort member and coded according to ICD-10. 40 requested death certificates could not be found at the GA or were no longer archived. 99,1 % of the causes of death were identified.

The research project "**Impact of state subsidies on implementing radon remediation measures in the housing sector - an analysis of potentials**" (3620S12282) generated findings on whether and how a governmental subsidy programme for radon remediation in residential buildings with high radon concentration in indoor air, especially in "radon precautionary areas", would lead to additional radon remediation activities. Employed methods include a literature analysis, expert interviews, interviews with home owners and an expert talk event. It is estimated that a subsidy programme can cause 2,000 to 22,000 additional radon remediations yearly in Germany. They would require continuous, active providing of information on the topic of radon in living space. Whether the subsidy programme would

be effective, depends on supporting radon measurements in large numbers and offering independent, competent consultation services to home owners.

SUBJECT AREA 02 - RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

The generation of X-rays in ultrashort pulse laser materials processing depends on a large number of laser, process and material parameters, some of which influence each other. X-ray emission in the keV range is dominated by resonance absorption, for which the laser irradiance, laser pulse duration, laser incidence angle, and laser polarisation state are essential. Depending on these parameters and the workpiece, the emitted X-ray dose rate can vary by several orders of magnitude. Within the framework of the research project **“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” (3619S22370)** radiation protection scenarios for routine laser micro-material processing conditions and various accident scenarios were designed. For the accident scenarios, operation of the laser material processing facility with routine parameters was assumed. The calculations for routine operation and for various accident scenarios under routine processing conditions showed that steel enclosures are sufficient for ensuring radiation protection in laser material processing. In contrast, other shielding materials such as aluminum should not be used or should only be used if a sufficient distance to the processing point is maintained.

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

Ionising radiation is an accepted risk factor for childhood leukaemia development. However, the significance of weak ionising radiation in the low dose range is still unclear. The aim of the research project **“Influence of low-dose radiation on leukemia development in a genetically predisposed mouse model” (3618S32274)** was to experimentally test whether exposure to low-dose radiation can cause oncogenic mutations (as a so-called second "hit") in the *Sca1-ETV6-RUNX1* mouse model, which carries the most common preleukaemic gene translocation *ETV6-RUNX1* found in children. Precursor B-cell acute lymphoblastic leukaemia (pB-ALL) developed in *Sca1-ETV6-RUNX1* mice irradiated once at four weeks of age with an exact dose of at least 0.5 Gy from a gamma radiation source (Cs-137) (0.5 Gy, n=3/30; 2 Gy, n=4/30). Exposure-related somatic mutations in these pB-ALL involved (1) hot-spot regions in known cancer genes (*Jak1, Jak3, Ptpn11, Kras*), (2) genes that were also mutated in human *ETV6-RUNX1*-positive pB-ALL (*Atm, Sh2b3, Ptpn11, Kras*), (3) pB-ALL predisposition genes (*Sh2B3, Ptpn11*), (4) other known cancer genes. Due to the small number of tumors and somatic SNV, no specific radiation-induced mutation signature could be identified. Larger cohorts or mouse models with higher tumorigenicity, together with whole-genome sequencing and complementary omics analyses, could generate larger data sets in the future and provide a comprehensive picture of specific t(12;21)-associated secondary genomic alterations resulting from radiation.

Pediatric acute lymphoblastic leukaemia (ALL) is often characterized by the preleukaemic chromosomal translocation t(12;21), which occurs before birth and leads to the formation of the chimeric transcription factor *ETV6-RUNX1*. Further genetic aberrations are necessary for the development of leukaemia. The frequency with which *ETV6-RUNX1*-positive preleukaemic cells occur in newborns is still unclear. In a pilot project of the BMUV/BfS a stable DNA based method for the detection of preleukaemic translocations (genomic inverse PCR for the detection of ligated breakpoints, abbreviated: GIPFEL) was developed. In a first retrospective screening of 1,000 healthy newborns, 5 % showed *ETV6-RUNX1* positive signals. To test this finding in an expanded cohort, in the project **“Determination of the frequency of preleukemic translocations in umbilical cord blood” (3618S32275)** an additional 1,405 cord blood samples were screened. Of these, 103 (7.3 %) were *ETV6-RUNX1* positive. The study confirmed the high incidence of *ETV6-RUNX1*-positive preleukaemic cells in healthy newborns and thus the high number of predisposed children in the population. Therefore, the influence of environmentally induced or spontaneously occurring cooperating oncogenic lesions is of particular importance in the development of *ETV6-RUNX1*-positive childhood leukaemia.

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

“Evaluation of the breast cancer mortality in the German mammography-screening-program“ (3617S42402):

The technical procedures designed for data collection and management for the evaluation of breast cancer mortality in the German Mammography Screening Programme could be successfully implemented in the main study I. As a result, in the health insurance data approach a test data flow with simulated data into the health insurance-based data pooling centre (kDZS) and a direct cause-of-death comparison could be successfully performed. In the population-based approach, after linking the information provided by the different data holders, a partial data set could be retrieved in the evaluating centre (ES).

In parallel, all evaluation concepts were further developed with the expertise in the consortium taking into account new research findings, and were supplemented by other approaches. In addition, possibilities for linking data from both approaches were explored and the possible implementations including advantages and disadvantages were discussed.

It was not possible to pilot the supplementary approach using clinical cancer registry data due to the lack of approval by the end of the project. However, a test data flow was able to show the general transferability of the research concept into practice.

In order to evaluate the long-term impact of the mammography screening programme on breast cancer mortality in the target population in Germany, the research project **“Data, process and evaluation audits in the course of the evaluation of breast cancer mortality in the German Mammography Screening Program (MSP)” (3619S42460)** ("Mortality Evaluation") was carried out by the Westfälische Wilhelms-Universität Münster ("general contractor"). To ensure the quality in the Main Study I (2018-2021), two data, process and evaluation audits were to be conducted. The objective of the first audit was to determine the status quo and the compliance level of activities, processes, and documentation with regard to the audit criteria at the general contractor and his subcontractors. The second audit focused on assessing the implementation of the recommendations from the first audit, further surveying the status quo and evaluating the general contractor's internal quality assurance plan. In addition, a test run of the existing software modules was carried out. Even though data and analyses could not be evaluated due to delays, the auditors recognised that numerous quality assurance activities had been taken and that quality was being monitored. The quality assurance activities are suitable for detecting errors at an early stage.

Cone beam computed tomography (CBCT) imaging is becoming increasingly important in 3D imaging. Despite this fact, it is currently impossible to compare doses in CT and CBCT because of conceptually different dose quantities used in both classes of equipment. Within the framework of the current project **“Development of a concept to convert dose quantities on cone beam computed tomography scenarios (3619S42462)”** conversion factors to combine dose quantities from CT and CBCT have been determined by measurements and by simulations. As one main result it can be concluded that the use of two universal conversion factors is feasible, one for head and one for body scans, taking reasonable uncertainties into account. The use of these conversion factors enables a consistent definition of dose reference values for CT and CBCT imaging for comparable clinical indications. Nevertheless, some unsolved questions that require further consideration, especially the practical implementation of the developed procedures, remain.

SUBJECT AREA 05 - RADIOECOLOGY

There is no finalised project in this subject area in 2021.

SUBJECT AREA 06 - EMERGENCY MANAGEMENT

As part of the project **“Integration of the atmospheric dispersion model FLEXPART into RODOS to extend the capabilities of inverse modelling for source location and source term determination**

based on measured data” (3619S62500), the atmospheric transport and dispersion model FLEXPART was integrated into the decision support system RODOS/JRODOS. The work included the creation of a uniform database for FLEXPART, the coupling to the meteorological forecast data of the German Weather Service and the development of a graphical user interface for FLEXPART as part of the JRODOS system. After intensive tests, the practicality was confirmed. Thus, JRODOS now supports inverse model calculations for the determination of source locations and source terms by performing atmospheric forward and, now newly added, backward calculations as well.

In the event of a national radiological emergency, the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection (BMUV) sets up a Federal Radiological Situation Center (RLZ) in accordance with the Radiation Protection Act (StrlSchG, § 106 and § 108). One of the tasks of the RLZ is to create the radiological situation report (RLB) (§ 106 StrlSchG). The RLB forms the radiological basis for the assessment and response to a radiological emergency for many federal, state and regional authorities and is used by radiological experts and laypersons alike. The purpose of the research project **“Review and further development of the radiological situation report as basis for information and communication in radiological emergency management (3619S62580)”** as to check the usability of the radiological situation report for this diverse group of recipients and based on existing technical requirements to improve its effectiveness. The focus was set on ascertaining the comprehensibility and effectiveness of textual and graphical information for users with and without radiological expertise. First, the current state of research and technology with regard to effective radiological situation reports screened. Based on the results of in-depth interviews with users of the RLB and a desktop simulation, a comprehensive proposal for optimizing the RLB was developed, subsequently.

In the project **“Support of the RLZ head office at the BMU and the situation centre BfS-Neuherberg during RLZ emergency exercises” (3619S62581)**, the scenario catalogue for nuclear emergency exercises developed by GRS in several previous projects was updated. Scenarios were prepared for two emergency exercises of the Federal Radiological Situation Centre (RLZ) and support was provided for the preparation, implementation and evaluation of the emergency exercises „Kommunikationsübung 2020“ and CORE 2021. The GRS Emergency Centre actively participated in the exercises as part of the RLZ. In addition, support was provided in the preparation of the emergency exercise CORE 2022. Furthermore, on the basis of an earlier emergency exercise, a planning meeting was prepared and conducted for the newly established team communication of the head office of the RLZ at the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection (BMUV). The aim of the meeting was to provide support in defining the scope of work and the work processes of team communication within the head office.

SUBJECT AREA 07 - PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

The aim of the project **“Survey of activity-related occupational dose exposure during mobile radiography” (3617S72382)** was a detailed analysis of the handling of radioactive sources used for mobile radiography and the identification of optimization possibilities for the radiation protection of personnel. Under WP 1, a survey was conducted to obtain an overview of the equipment used, number of employees exposed to radiation, work procedures, radiation protection measures, and emergency management. Within the scope of WP 2, the current laws, regulations and guidelines for the operation and transport of the devices were presented. Dose data were collected from radiography facility staff in relation to radiation sources, methods, and workflows as part of WP 3. In order to allow a better interpretation of the acquired personal dose data, exemplary measurements of the radiation field in the vicinity of mobile radiation sources during several applications were performed. WP 4 covers the evaluation of the incidents in the period from 2010 to 2017, as well as the presentation of the emergency planning foreseen by the mobile radiography operators. WP 5 focused on the analysis of dosimetric data in relation to the effectiveness and adequacy of regulatory requirements. The data collected in WP 3 were analysed in terms of dose optimization opportunities and good practices.

The activity distribution as a function of the aerodynamic particle diameter is decisive for the calculation of effective dose to members of the public following the discharge of radioactive substances from

nuclear facilities. This aspect was investigated experimentally during the **“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” (3617S72572)** in the context of changing activities in the course of dismantling of nuclear facilities (no power generation, use of decontamination and segmenting techniques).

The particle mass and activity distribution were measured by particle size during the dismantling phase of two German nuclear power plants. The particle size distribution was investigated at aerodynamic particle diameters between a few nm and more than 10 µm, at the aerosol origin without filtration, in the ambient plant air cleaned by pre-filtering and in the exhaust air emitted from the stacks after passing the stack filtration systems, respectively. This approach allowed evaluation of the filter efficiency by comparing the particle concentrations upstream and downstream of the filtering systems.

The gravimetric measurements consistently yielded bimodal distributions of the particle mass concentration, which approximately coincided with the activity concentration distribution for larger aerodynamic particle diameters. However, the measurement methods reached their limits in determining the activity distribution at aerodynamic diameters below 2,5 µm. The measurements consistently demonstrated the high efficiency of the filter systems.

In the context of the project **“Update of the investigation and evaluation of task-related radiation exposure in nuclear facilities and on-site interim storage facilities for radioactive waste” (3618S72392)** task related occupational exposure in nuclear facilities according to AtG and in on-site storage facilities for radioactive waste and spent fuel were assessed and evaluated. The results of the project show that the total collective exposure of the plants in operation have stabilized on a low level. Dismantling of nuclear power plants under decommissioning can be carried out with low annual collective doses compared to the doses during operation. The performance of a full system decontamination, which is routinely done in recent years before the beginning of dismantling works leads to a further reduction. In the last six reporting years (2014 to 2019), the total annual collective dose of all fuel cycle facilities is at a relatively constant level and is significantly below the total annual collective doses of the nuclear power plants in operation or post-operation. Moreover, questions regarding the employment of foreign contracted personnel in German nuclear power plants were edited in order to contribute to cross-border radiation protection.

An epidemiological cross-sectional study with two samples was carried out in order to record preventive UV protection measures in outdoor areas of day-care centers (with care for children under and over three years of age as well as after-school care centers) and schools (elementary schools, secondary schools of all types, vocational schools and special schools). For this purpose, a **“Representative survey to record structural measures for the prevention of UV-induced diseases in child-care facilities and schools in Germany” (3619S72401)** was conducted. The data collection was carried out using an online questionnaire, which was filled out by the management of the facilities. Just under 2 % of all day-care centers and over 2% of all schools in Germany were recruited. The samples were representative in terms of sponsorship (day-care centers) and school types. Compared to schools, day-care centers had significantly more sun protection measures in the outdoor area (99.1 % vs. 82.0 %; $p < 0.001$), shaded a significantly larger outdoor area (42.5 % vs. 26.0 %; $p < 0.001$) and the satisfaction with the sun protection measures was significantly higher (60.6 % vs. 39.1 %; $p < 0.001$). An estimation regarding the question whether the given shade could be considered sufficient showed that insufficient UV protection has to be assumed for about 45 % of the schools and for about 10 % of the day-care centers. Schools without primary education had the most rarely UV-protection measures in the outdoor area compared to all other educational institutions.

“Survey of the German population’s dealing with radon as a basis for risk communication and strengthening of protective behavior” (3620S72211):

Around 30 % of the population is aware of radon and a further 35 % believe they have heard of it. However, only 23 % of all respondents know that radon concentrations in buildings can be measured. Only 2 % have experience with radon measurement. The rather low knowledge about radon leads to an underestimation of the health risks. Only 6 % estimate the health risk for themselves to be (very) high and only 4 % consider it to be the greatest health risk compared to other factors. Overall, the willingness to protect oneself increases significantly with the concretisation of exposure - if an elevated

radon concentration were measured in the living space, about 90 % of the interviewees would react to it, be it by obtaining information, a medical check-up or better ventilation of the living space. In order to be able to reach people with information on the subject of radon, the level of trust placed in a sender is crucial. Public institutions enjoy a (very) high level of trust among 69 % of the respondents. The first point of contact for an active information search is the internet for 63 %. Since public institutions and authorities are also central contact points, the information made available online should be easily accessible. For the design of communication messages, it could be shown that contextualisation leads to an increase in the behavioural intention, as do references to an increased risk of lung cancer and pointing out options for action (e. g. where to order a measuring device, etc.). A communication strategy combining several media, including the BfS website, proved most promising in both the qualitative interviews and the quantitative test of the information modules.

Social Media and especially Twitter play an important role in people's information search during the Covid-19 pandemic. Based on the Social Media Framework a quantitative text analysis including a content, sentiment, trend analysis, and Social Network Analysis was conducted in the frame of the project **"A comparative evaluation of online crisis communication of authorities and independent experts in the context of the COVID-19 pandemic as basis for an improvement of crisis communication of the Federal Office of Radiation Protection - Lot 2"** (3620S72216). Tweets from 40 different Twitter-users have been analyzed. Descriptive analysis revealed that Twitter behavior of public authorities and experts differed widely. Germany's Covid-19 experts communicated with a higher share of friends and followers. Covid-19 crisis communication by experts spread in higher numbers compared to that of authorities. Higher Twitter activity paralleled the Covid-19 infection rates in Germany. Using hashtags and mentions in Tweets reduced spread of Covid-19 tweets for both groups of stakeholders. Tweet spread was higher when the tweets dealt with severity, technical information about the spread of the virus, and social consequences of the pandemic. Sentiment analysis allowed uncovering emotionality in tweets. Experts tweets were found to be more negatively connotated (decreasingly so over the sample period) compared to the more neutral tweets posted by authorities. Authorities tweets during the summer of 2020 were close to neutrality. According to Social Network Analysis, there were stakeholders who are oftentimes referred to. These are stakeholders playing an important role in fighting the pandemic. On the other hand, there were stakeholders who themselves frequently refer to others without being referred to. Thus, stakeholders with reciprocal connections and those with rather one-way communication exist.

Regularly, dangerous dazzle attacks on aircraft or vehicle drivers are carried out with powerful optical radiation sources. As a result of a dazzle attack, visual impairment or distraction can occur, which can lead to accidents. In the special case of laser attacks, there is also the risk of eye damage to persons exposed to the laser beam. Based on this background and in the scope of the project **"Dazzle attacks and eye injuries by lasers and other powerful sources of optical radiation"** (3620S72410), various public and medical institutions were surveyed to obtain information on the number and details of incidents and attacks with laser pointers or other strong optical radiation sources. These results were subsequently used to point out risks associated with such attacks as well as to present several projections. Further, the legal situation is analysed and potential approaches to minimize such risks are discussed.

SUBJECT AREA 08 - NON-IONISING RADIATION

The project **"Study and evaluation of literature on occurrence, spread and health effects of ionized pollutant particles in the vicinity of power lines"** (3618S82453) examined the state of the art on quantifying the concentrations of ions and charged particles in the air near power lines and the resulting health implications. Some aspects of the topic are both well understood theoretically and extensively validated experimentally; this concerns in particular the maximum ion concentrations that may occur downwind of high-voltage direct current (HVDC) transmission lines, or the aerodynamic deposition of charged particles in the lungs and the respiratory tract. There is still a need for research in other areas. Especially, only few measurements of the size distribution of charged particles in the air exist so far, not only downwind of high-voltage power lines, but also in other potentially relevant areas, such as traffic emissions. Despite some uncertainties, it can be stated that, given the current state of science,

significant health effects from ions or charged particles (provided their concentration is in the typical range for the environment of high-voltage power lines) can be ruled out. This study essentially confirmed similar results of pertinent previous reviews.

The research project “**Consideration of current mobile radio antenna technology for RF-EMF exposure assessment**” (3619S82463) dealt with the measurement-based assessment and the analysis of RF-EMF exposure from 5G base stations operated with beamforming antennas. For this purpose, the time-varying radiation characteristics of the antennas must be suitably taken into account. Exposure measurements at 100 systematically selected measurement points in the vicinity of ten 5G base stations in the 3.6 GHz band resulted in maximum exposure levels between 0.2 % and 28.9 % (median 4.7 %) of the German field strength safety limits given by the 26th Ordinance Implementing the Federal Immission Control Act (26. BImSchV). The instantaneous exposure levels without provoked traffic were between 0.04 % and 1.1 % of the field strength limits (median 0.08 %) and the exposure caused by a typical use case (TV live stream by one user) were only slightly higher between 0.04 % and 1.3 % of the field strength limits (median 0.2 %). In case the beam did not point towards the measurement point, but was shifted azimuthally or radially by several tens of meters, a considerable exposure reduction could be observed.

Since 2004, four human experimental laboratory studies on the potential impact of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) on brain activity have been conducted at the Competence Center of Sleep Medicine, Charité Berlin so far, each on behalf of the Federal Office for Radiation Protection. Aim of the research project “**Detailed comparative analysis of age and sex related effects of radiofrequency electromagnetic fields from mobile telephony devices on brain activity, sleep and cognitive performance**” (3619S82465) was to combine these data and test for differences in the impact of RF-EMF on brain activity, sleep and cognition between elderly men and women, and between young and elderly men. The first step was to ensure comparability of data between the four studies. This required a number of re-analyses of already available data and, in some cases, re-determinations of specific outcome parameters of interest. Subsequently, statistical analysis was carried out using two different methods (pairwise analysis and variance analysis approach). The present analysis revealed sex and age differences independent of exposure for each of the five subjects of investigation (macrostructure of sleep including self-reported sleep parameters, sleep and waking EEG power values, and electrophysiological and behavioral measures related to cognition). Sex- and age-independent exposure effects as well as sex- and age-specific exposure effects have also been observed for each of the five subjects of investigation but these effects occurred to a considerably lesser extent. Overall, the observed physiological variations are not indicative of any possible adverse health implications from acute RF exposure.

Within the framework of the research project “**Views of the population on the 5G mobile phone standard and its communicative presentation**” (3620S82471) knowledge, perception, risk perception, attitudes towards safety and the need for information about the 5G mobile communication standard in Germany were collected in a combined qualitative and quantitative study (literature research, qualitative interviews and group discussions, population-representative CATI survey). The result shows that, although there is a very high level of conceptual knowledge of 5G, the degree of information, risk perception and perceived benefits, as well as the associated need for information, differ greatly: There were four key, statistically representative segments overall: "Indifferent", "Informed concerned", "Moderately interested" and "Informed unconcerned". Over time, it is clear that there is declining concern about electromagnetic radiation emanating from mobile communications. However, with regard to 5G as the new mobile communication standard, it appears that the number of people who are concerned about the health-related issues is somewhat higher and that over one third of the respondents consider information on 5G to be (very) important.

The project “**Past conflicts surrounding 5G networks as a lesson for future communication strategies**” (3620S82476) addressed the question to which extent current conflicts surrounding the introduction of 5G networks can be understood as a continuation or advancement of past conflicts, or whether new actors, lines of argumentation, new insights or cultures of discussion can be identified. Based on a comparison of past and present lines of conflict, the report formulates recommendations for future conflict

management and regulation concerning cellular network conflicts. Overall, the necessity of fast and extensive mobile networks is widely accepted - there is disagreement however regarding the question of whether expansion of 5G in particular was necessary for private users. When specific conflicts erupt and are continuously repeated, opposite positions tend to harden and a further dichotomisation may take place. Conflict intensity thus increases, which in turn makes conflict settlement more difficult. Fundamentally, scientific and risk communication are - then and now - decisive with regard to their potential of addressing triggers of conflict as well as dealing with risks and uncertainty.

In the project **“The use of mobile phones and the development of glioma incidence since 1979” (FM8867)** the researchers examine the consistency between hypothetical scenarios of an increased risk of glioma (most common brain tumour) related to the use of mobile phones and observed time trends in glioma incidence rates in the Nordic countries (Denmark, Finland, Norway and Sweden). As mobile phone use became extremely popular within only few decades, with hardly any mobile phone users before the mid 1980s and virtually complete coverage only 20-25 years later, mobile phone related risks would be expected to affect the incidence rate of glioma. Previous epidemiological studies found inconsistent results, with cohort studies observing no association between mobile phone use and glioma risk, while some case-control studies observed increased risks both for ever mobile phone users or restricted to heavy mobile phone users.

In conclusion, this ecological data is not sufficient to dismiss every hypothetical mobile phone related risk scenario, but suggests that any risk - if it exists - would be very small, would only occur after very long latency periods of several decades, or would only affect small subgroups within glioma patients. This simulation study contradicts findings from case-control studies showing increased risks in ever users and suggests that risks found in heavy users appear to be at least overestimated. Results are compatible with those from cohort studies of observing no increased risks.

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

The expansion of the German power grid is of paramount importance to the success of the energy transition and keeping energy affordable in the future. In this context, the project **“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” (3619S92412)** was carried out. While a majority of the German population may vote in favour of renewable energy, the picture often changes when it comes to the local expansion of transmission lines. Frequently, discussions focus on concerns and reservations about new electricity lines in the neighbourhood: people raise fears about health risks due to the electrical and magnetic fields.

Concerned citizens often turn to people in their immediate environment, such as doctors, teachers or representatives of local authorities, with unanswered questions and concerns. In this way, trusted individuals could function as important mediators of knowledge on the subject of electrical and magnetic fields, helping allay any fear or uncertainty and conveying knowledge and reassurance.

The project aims to provide such individuals with the knowledge and skills to meet the information needs of citizens and impart in-depth information about the effects of electromagnetic fields due to power lines.

2. ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)

**der vom BfS begleiteten Strahlenschutz-Forschungsvorhaben des
BMUV 2021**

2. *RESULTS (FINAL REPORTS)*

***of BfS supported BMUV radiation protection research projects in
2021***

2.1 Themenbereich 01 **Natürliche Strahlenexposition**

2.1 *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 301.701,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Diamond (KH) Germany HoldCo GmbH, München (ehemals Kantar GmbH)

Projektleitung

Dr. C. Cholmakow-Bodechtel

Fachbetreuung BfS

Dr. V. Deffner / WR 3

verantwortlich für den Text

Dr. C. Cholmakow-Bodechtel,
S. Mayer, 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, welche von 1946 bis 1990 in Sachsen und Thüringen Uran gefördert und aufbereitet hat. 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 Standesämter ermittelt. Für die im genannten Zeitraum verstorbenen Kohortenmitglieder wurden zudem über Gesundheitsämter (GA) bzw. das Zentralarchiv für Leichenschauscheine in Berlin 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 wurde durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte gemäß der Vorgehensweise in den vier vorausgegangenen Follow-ups ohne Personenkontakte und wurde vom BfS datenschutzrechtlich abgestimmt. Alle benötigten Informationen wurden über die jeweiligen offiziellen Stellen (EMA, Standesämter, GA) 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) wurde für 28 638 Personen zum Stichtag 31.12.2018 ermittelt.

2.2 ERHEBUNG DER TODESURSACHE FÜR VERSTORBENE PERSONEN

Für alle verstorbenen Personen der Kohorte waren Todeszeitpunkt und Todesursache zu ermitteln. Die Todesursache wurde nach ICD¹⁾-10 verschlüsselt.

¹⁾ Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme

3. METHODIK

Für 28 638 Kohortenmitglieder, die im vierten Follow-up als lebend ermittelt wurden, wurden Auskünfte über ihren Vitalstatus bei den zuständigen EMA der letzten bekannten Adresse zum Stichtag 31.12.2018 eingeholt. Die Rückmeldungen wurden wie nachfolgend beschrieben weiterbearbeitet. War die angefragte Person wie angegeben oder mit einer Umzugsadresse in der Gemeinde gemeldet, galt die Person als lebend ermittelt und die Recherche für die betreffende Person war in diesem Follow-up abgeschlossen. War eine Person verstorben, wurden Sterbedatum und Sterbeort dokumentiert. Bei Rückmeldung des Verzugs in eine andere Gemeinde wurde eine Folgeanfrage an das für den neuen Wohnort zuständige EMA gestellt. Dieser Vorgang wurde so lange wiederholt, bis die Person als lebend oder verstorben ermittelt oder als Lost-to-Follow-up (unbekannt verzogen/von Amts wegen abgemeldet, ins Ausland verzogen oder im Melderegister nicht zu ermitteln) vom EMA gemeldet wurde. Die Ergebnisse der Recherche wurden in der Datenbank dokumentiert.

Für alle als verstorben gemeldeten Personen wurde in einem nächsten Schritt die Todesursache eruiert. Auf Basis der Angaben der EMA (insbesondere der Angaben zu Sterbedatum und Sterbeort) wurden die zuständigen GA gebeten, Kopien der Todesbescheinigungen zuzusenden. Aus Gründen des Datenschutzes ersetzten die GA die Namen auf den Kopien der Todesbescheinigungen durch die Stichprobennummer und versendeten diese direkt an das BfS. Der Eingang der Todesbescheinigungen wurde in der Datenbank dokumentiert. Die Todesursachen wurden anhand der Todesbescheinigung unter Berücksichtigung von Datenschutz und Datensicherheit nach ICD-10 verschlüsselt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERHEBUNG DES VITALSTATUS

Nach dem Auftaktgespräch am 28.03.2019 wurden die Adressen der 28 638 Kohortenmitglieder, die am 31.12.2013 noch lebten, und die Adressdaten der Verwaltungssitze sowie die zugehörigen Gemeindegrenzziffern am 04.04.2019 an Kantar / Diamond 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 elektronisch 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.

Standen Rückmeldungen der EMA längere Zeit aus, wurde schriftlich und telefonisch an das Anliegen erinnert. Für alle Personen, die als „verzogen“ zurückgemeldet wurden, erfolgte der Versand einer Folgeanfrage. Einzelne nachträglich eingehende Rückmeldungen wurden manuell in der Datenbank erfasst und direkt bei der Eingabe geprüft. Um im Frühjahr 2021 die EMA Recherchen abschließen zu können, wurden die Informationen zum Vitalstatus von den verbleibenden 365 Personen über Anfragen bei einem auf EMA-Recherchen spezialisierten externen Dienstleister eingeholt. Gerade bei Anfragen an EMA, die spezielle elektronische Systeme für den Adressabgleich vorhalten, war dieser Weg schneller und zielführender als die direkten dortigen Anfragen. War eine angefragte Person über die EMA-Anfrage nicht zu ermitteln, wurde zusätzlich das Standesamt des Geburtsortes nach Informationen zum Vitalstatus angefragt.

4.2 ERHEBUNG DER TODESURSACHE FÜR VERSTORBENE PERSONEN

Ab Januar 2020 wurden die Anfragen an die GA eingereicht mit Bitte um Zusendung einer Kopie der Todesbescheinigungen direkt an das BfS. Um den Eingang der Todesbescheinigungen zu kontrollieren

und eventuell nötige Erinnerungsschreiben an die GA zu versenden, übermittelte das BfS Kantar monatlich eine Übersicht über alle eingegangenen Todesbescheinigungen. Ein GA wurde auf Grund der hohen Belastungen durch die Corona-Pandemie und die Vielzahl der Anfragen durch einen Mitarbeiter eines externen Dienstleisters bei der Erstellung von Kopien der Todesbescheinigungen unterstützt. Die Prüfung der korrekten Zuordnung der Todesbescheinigungen zu den Kohortenmitgliedern führte Kantar an zehn Terminen in den Räumen des BfS durch. Digital vorliegende Todesbescheinigungen wurden ebenso verifiziert. Parallel erfolgte die Kodierung der Todesursachen nach dem ICD-10-Schlüssel.

5. ERGEBNISSE

Insgesamt wurden 23 978 Personen (83,7 % der im fünften Follow-up zu recherchierenden Personen) als lebend ermittelt (vgl. Tabelle 1). Darunter fallen alle Personen, die unter der bekannten Adresse gemeldet oder nach Umzug (innerhalb der Gemeinde) bzw. Verzug (in eine andere Gemeinde) ermittelt worden sind. Ein Anteil von 0,3 % der im fünften Follow-up zu recherchierenden Personen konnte nicht nachverfolgt werden, da sie im Melderegister nicht zu ermitteln, ins Ausland verzogen waren oder unbekannt verzogen sind. 4 583 (16,0 %) Personen wurden als verstorben gemeldet.

Tabelle 1: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse des 5. Mortalitäts-Follow-up

	Anzahl	Anteil (%)
Lebend ermittelt	23 978	83,7 %
Lost (nicht zu ermitteln / ins Ausland verzogen / unbekannt verzogen)	77	0,3 %
Verstorben (Todesursache bekannt)	4 543	15,9 %
Verstorben (Todesursache unbekannt)	40	0,1 %
Summe	28 638	100 %

Zur Ermittlung der Todesursache der verstorbenen Kohortenmitglieder wurden 320 GA angeschrieben. Das BfS meldete den Eingang von 4 583 Rückmeldungen (Kopien von Todesbescheinigungen und abschlägige Bescheide), davon 4 543 Kopien von Todesbescheinigungen. Damit wurden alle Anfragen an die GA beantwortet. Die eingegangenen Todesbescheinigungen wurden darauf geprüft, ob sie korrekt dem jeweiligen verstorbenen Kohortenmitglied zugeordnet wurden, und nach ICD-10 verschlüsselt. Zu 40 Verstorbenen war keine Todesbescheinigung erhältlich (beim GA nicht auffindbar oder nicht archiviert) und somit die Todesursache unbekannt.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Wismut-Kohortenstudie dient der Untersuchung der gesundheitlichen Auswirkungen des Uranbergbaus, insbesondere dem strahlenbedingten Gesundheitsrisiko. Durch das 5. Mortalitäts-Follow-up wird der durchschnittliche Beobachtungszeitraum um weitere 5 Jahre auf insgesamt mehr als 40 Jahre verlängert und ist länger als in anderen Uranbergarbeiter-Studien. Somit werden Analysen basierend auf dem fünften Mortalitäts-Follow-up Aussagen zum Gesundheitsrisiko einige Jahrzehnte nach Strahlenexposition ermöglichen. Zudem lassen die Analysen der Daten aus diesem Follow-up interessante Ergebnisse im Niedrig-Dosis-Bereich sowie für andere Krankheiten als Lungenkrebs erwarten. Diese Erkenntnisse sind für den Strahlenschutz von besonderer Bedeutung.

Thema

Wirkung staatlicher Fördermaßnahmen auf die Umsetzung von Radonsanierungsmaßnahmen im Wohnbereich - eine Potenzialanalyse

Subject

Impact of state subsidies on implementing radon remediation measures in the housing sector - an analysis of potentials

Kennzeichen 3620S12282	Beginn 01.09.2020	Ende 31.05.2021	Fördermittel EUR 118.079,-
----------------------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Forschungs- / Auftragnehmer

IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH, Berlin

Projektleitung

Dr. L. Illge

Fachbetreuung BfS

C. Pözl-Viol / St-RK

verantwortlich für den Text

Dr. L. Illge

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die Möglichkeiten und Notwendigkeiten für ein Förderprogramm zur Sanierung von Wohngebäuden mit erhöhten Radonaktivitätskonzentrationen in der Innenraumluft, insbesondere in Radonvorsorgegebieten, zu prüfen. Dabei war zu prüfen, ob Synergieeffekte mit anderen Förderprogrammen erreicht werden können. Es war eine konkrete Aussage darüber zu treffen, in welcher Form ein staatliches Förderprogramm zur Sanierung von Wohngebäuden (Art und Höhe der Förderung, Adressat der Förderung) zu zusätzlichen Sanierungen von Gebäuden mit erhöhten Radonaktivitätskonzentrationen in der Innenraumluft führen würde.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben verfolgte drei Einzelziele:

- Aufarbeitung des bisherigen Kenntnisstandes zur Wirkung und Inanspruchnahme staatlicher Fördermaßnahmen
- Durchführung von Interviews mit Eigentümer*innen von Wohngebäuden
- Durchführung eines Fachgesprächs mit Expert*innen aus den relevanten angrenzenden Bereichen.

3. METHODIK

Es wurden folgende Methoden eingesetzt:

- Literaturrecherche (Literaturdatenbanken, Internet)
- Interviews mit Expert*innen
- leitfadengestützte Interviews (mit Eigentümer*innen von Wohngebäuden)
- Fachgespräch mit Expert*innen

4. DURCHFÜHRUNG

Das Forschungsvorhaben gliederte sich in drei Arbeitspakete (AP):

4.1 AUFARBEITUNG DER AKTUELLEN ERKENNTNISSE ZUR WIRKUNG STAATLICHER FÖRDERMAßNAHMEN (AP 1)

Im ersten Arbeitspaket wurde der vorliegende Stand der bisherigen Erkenntnisse zur Wirkung von Fördermaßnahmen allgemein und speziell im Bereich Radon, auch international, aufgearbeitet. Die Literaturrecherche wurde anhand der einschlägigen Literaturdatenbanken und Recherchemöglichkeiten durchgeführt. Interviews mit Expert*innen aus relevanten Themenbereichen rundeten die Literaturrecherche ab und stellten die Aktualität, Relevanz und Korrektheit der gefundenen Ergebnisse sicher. Der ermittelte Sachstand wurde in einem Zwischenbericht dokumentiert.

4.2 INTERVIEWS MIT EIGENTÜMER*INNEN VON WOHNGEBÄUDEN (AP 2)

Im zweiten Arbeitspaket wurden leitfadengestützte Interviews mit 35 Eigentümer*innen von Wohngebäuden geführt (per Video-Übertragung oder telefonisch). Insgesamt sechs der interviewten Eigentümer*innen waren nicht nur selbstwohnend, sondern auch Vermieter*innen. Sie wurden gesondert als selbstwohnende Eigentümer*innen und Vermieter*innen befragt. Mit den Interviews wurde die Bedeutung einer staatlichen Fördermaßnahme für die Entscheidung, das Wohngebäude zu sanieren, untersucht.

Für die Interviews wurden die Bundesländer Baden-Württemberg und Sachsen ausgewählt. In beiden Bundesländern gibt es Gemeinden, die als Radonvorsorgegebiete identifiziert wurden. In den Bundesländern sind aber auch Gemeinden vorhanden, die keine Radonvorsorgegebiete sind. Damit konnten Wohngebäudeeigentümer*innen in und außerhalb von Radonvorsorgegebieten interviewt werden. Die Ergebnisse der Interviews sowie die Methodik der Interviewdurchführung und -auswertung wurden in einem Zwischenbericht zusammengefasst.

4.3 FACHGESPRÄCH MIT EXPERT*INNEN UND ABSCHLUSSBERICHT (AP 3)

Am 3. Mai 2021 wurde ein Fachgespräch mit dem Titel „Wirkungspotential eines möglichen Förderprogramms für Radonsanierungen in Wohngebäuden“ als Videokonferenz durchgeführt, in dem die Ergebnisse aus AP 1 und AP 2 und die daraus vorläufig abgeleiteten Erkenntnisse vorgestellt und mit den eingeladenen Expert*innen diskutiert und fachlich bewertet wurden. Dabei wurden auch die Erfolgsbedingungen und Herausforderungen eines möglichen Förderprogramms thematisiert.

Am Fachgespräch nahmen insgesamt vier Expert*innen aus den Bereichen Public Health und Radon sowie mehrere Vertreter*innen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) und des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) teil.

Im Vorfeld des Fachgesprächs wurden den Expert*innen Kurzpapiere zugesandt, welche die zentralen Ergebnisse des Forschungsprojekts im jeweiligen Kompetenzbereich der Expert*innen zusammenfassten. Außerdem wurde eine quantitative Abschätzung der Wirkungen eines möglichen Förderprogramms für Radonsanierungen vorgenommen, die auf der Veranstaltung zur Diskussion gestellt wurde. Auf dem Fachgespräch wurden vom Auftragnehmer des Forschungsprojekts (IZT) Inputvorträge gehalten, die gemeinsam mit den Kurzpapieren die Diskussionsgrundlage darstellten. Die Diskussionen auf dem Fachgespräch wurden schriftlich dokumentiert und im Anschluss thematisch ausgewertet. Die Ergebnisse dieses Schritts wurden in einem Zwischenbericht zusammengefasst (Dokumentation des Fachgesprächs).

Auf der Basis des ausgewerteten Fachgesprächs wurden abschließend die Ergebnisse und Schlussfolgerungen der AP 1 und 2 sowie der quantitativen Wirkungsabschätzung in AP 3 überarbeitet und ergänzt. Die finalen Ergebnisse aller drei Arbeitspakete wurden in einem Abschlussbericht zusammenfassend dargestellt.

5. ERGEBNISSE

Die zentralen Ergebnisse des Forschungsvorhabens umfassen:

5.1 ZIELGRUPPENMOTIVE UND GRUNDSÄTZLICHE EIGNUNG EINES FÖRDERPROGRAMMS FÜR RADONSANIERUNGEN

Kosten-Nutzen-Abwägungen sind eine typische (aber nicht die alleinige) Herangehensweise an Entscheidungen über Radontests und Radonsanierungen. Damit wäre die Grundlage dafür gegeben, dass ein Förderprogramm (monetäre) Anreize schaffen und Wirkungen entfalten kann. Mit einer Radonsanierung den Wert der eigenen Immobilie zu erhalten oder zu steigern (ggf. mit einem Zertifikat), könnte eine überzeugende Handlungsmotivation sein, die nicht unmittelbar am Gesundheitsschutz ansetzt. Nicht alle Wohngebäudeeigentümer*innen folgen jedoch der Kosten-Nutzen-Logik. Einige von ihnen bewerten das Gesundheitsrisiko bzw. die eigene Gesundheit so hoch, dass sie eine Kosten-Nutzen-Abwägung als nicht angemessen ansehen und auch ein Förderprogramm nicht als Anreiz zur Radonsanierung (bzw. zuvor zum Radontest) betrachten.

5.2 ZIELGRUPPENANSPRACHE BZW. -IDENTIFIKATION

Für eine effiziente und wirksame Zielgruppenansprache erscheint es vorteilhaft, einen Fokus auf Wohngebäudeeigentümer*innen zu legen, die Sanierungsarbeiten ohnehin planen und sich in Radonvorsorgegebieten befinden. Dies können Personen sein, die Fördermittel für energetische Sanierungen oder auch Sanierungen zur Verbesserung der Einbruchsicherheit oder zum Umbau hin zu altersgerechten Bädern etc. beantragt haben. Hier können Informationsmaterialien und kostenlose Radontests angeboten werden.

Ein anderer Ansatz bestünde darin, zahlreiche kostenlose Radontests in Radonvorsorgegebieten – und auch außerhalb dieser Gebiete – durchzuführen. Eine Informations- und Messkampagne zum Thema Radon könnte auch gezielt auf die Vorteile energetischer Sanierungen und diesbezügliche Förderprogramme verweisen – und auf diese Weise zu einer zusätzlichen Motivation für eine Gebäudesanierung beitragen (vor dem Hintergrund der Erkenntnis, dass Gebäudesanierungen typischerweise aus mehreren Motiven heraus stattfinden).

5.3 WIRKUNGSPOTENTIAL EINES FÖRDERPROGRAMMS BEI UNTERSCHIEDLICHEN ZIELGRUPPEN

Ein Förderprogramm für Radonsanierungen kann bei Wohngebäudeeigentümer*innen, die bereits eine gewisse Offenheit gegenüber einer Radonmessung oder einer Radonsanierung haben oder die sich bezüglich einer Radonsanierung nicht sicher sind, eine deutliche „Schubwirkung“ (Beschleunigung) auslösen. Dagegen scheint ein Förderprogramm bei Personen, die eine Radonmessung eher nicht in Erwägung ziehen, nur selten eine Änderung der Meinung oder Handlungsintention hervorzurufen.

5.4 EINBETTUNG UND FÖRDERLICHE RAHMENBEDINGUNGEN EINES FÖRDERPROGRAMMS

Eine „optimale“ Förderquote stellt keine hinreichende Bedingung für eine umfangreiche Inanspruchnahme und hohe Wirksamkeit des Förderprogramms dar. Einen starken Einfluss auf den Erfolg des Förderprogramms hat vielmehr die Einbettung des Förderprogramms in eine längerfristig bzw. kontinuierlich durchgeführte und hinreichend finanziell ausgestattete Informationskampagne. Die Wirkungen des Förderprogramms können mit geförderten (bzw. kostenlosen) Radonmessungen (bestenfalls Messkampagnen) sowie einer fachlich kompetenten Beratung und Begleitung vervielfacht werden. Förderliche Rahmenbedingungen für ein Förderprogramm bestünden auch darin, dass im Mietvertrag festzuschreiben wäre, dass die Wohnung keine erhöhte Radonbelastung besitzt. Bezogen auf Immobilienkäufe können Musterkaufverträge, die das Thema Radon berücksichtigen, einen Anstoß zum Handeln geben.

5.5 INFORMATION SARBEIT

Ziel von Informationskampagnen wäre es, zunächst einmal eine Radonmessung durchzuführen und den Wohngebäudeeigentümer*innen im Bedarfsfall (d. h. bei einer nachgewiesenen, hinreichend hohen Radonbelastung) eine informierte Kosten-Nutzen-Abwägung zu ermöglichen. Als sinnvolle Zielgruppe wird die gesamte Bevölkerung angesehen (und nicht nur die Wohngebäudeeigentümer*innen), um das Thema in der Bevölkerung insgesamt zu verbreiten, und so auch über die Mieter*innen in Richtung der Vermieter*innen das Thema Radon aufzuwerfen und Radontests anzuregen.

5.6 RADONMESSUNGEN

Nationale und internationale Erfahrungen legen nahe, dass zumindest die abschließende Prüfung der Wirksamkeit der Radonsanierung durch eine staatliche Stelle/Behörde (finaler Radontest) vorteilhaft ist. Aber auch die initiale Prüfung auf eine Radonbelastung sollte durch Akteure durchgeführt werden, die das Vertrauen der selbstnutzenden Eigenheimbesitzer*innen und Vermieter*innen von Mehrfamilienhäusern genießen und von ihnen als neutrale, unabhängige Akteure ohne eigenes wirtschaftliches Interesse an einer Radonsanierung angesehen werden. Ein Beispiel wären die bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger*innen (mit der Einschränkung, dass sie nur zum Einsatz kommen, wenn Heizkessel oder Gastherme vorhanden sind), Einrichtungen des Verbraucherschutzes (Verbraucherzentralen) oder qualifizierte, unabhängige (zertifizierte) Berater*innen.

5.7 AUSGESTALTUNG DES FÖRDERPROGRAMMS

Ob und in welchem Ausmaß ein Förderprogramm für Radonsanierungen wirksam ist, hängt maßgeblich von seiner Ausgestaltung ab. Essentiell ist eine einfache („unbürokratische“ und gut verständliche), zeitnahe und transparente Umsetzung des Förderprogramms aus Sicht der Fördernehmer*innen (Antragstellung, ggf. erforderliche Kostennachweise, Wirkungsnachweise der Radonsanierung).

Die Interviews geben Hinweise darauf, dass Kostenzuschüsse auf eine große Akzeptanz stoßen würden, während dies bei Steuererleichterungen und einem kostengünstigen Kredit nur eingeschränkt der Fall zu sein scheint. Dennoch erscheint es sinnvoll, alle drei Optionen im Förderprogramm anzubieten, um so eine Wahlfreiheit zu ermöglichen.

Erfahrungen aus Radonprogrammen und dem Bereich der energetischen Sanierung verweisen auf Förderquoten von 20 % bis hin zu 100 %, jeweils versehen mit einem Deckelbetrag, der bei den erwartbaren/üblichen Kosten einer Radonsanierung liegt (500 bis 5 000 Euro). Mit Blick auf die Förderquote wäre denkbar, je nach Höhe der Radonbelastung unterschiedliche Förderquoten anzusetzen (da der Handlungsbedarf unterschiedlich dringend erscheint). Zu prüfen wäre, ob je nach eingesetzter Sanierungsmethode ein Deckelbetrag definiert werden kann, der sich an den üblichen Kosten orientiert.

5.8 BERATUNG UND BEGLEITUNG DER WOHNGEBÄUDEEIGENTÜMER*INNEN

Erfahrungen aus anderen Ländern zeigen, dass eine individuelle Beratung (als direktes Follow-up nach den Tests) derjenigen Fälle mit Radonbelastungen, die eine Sanierung nahelegen, einen zentralen Erfolgsfaktor für ein wirksames Förderprogramm darstellt. Denkbar sind Beratungen, die die Fördermittelbeantragung mit abdecken. Teil eines Förderprogramms für Radonsanierungen könnte eine staatliche/behördliche „informativische Begleitung“ im gesamten Prozess mittels zentraler Ansprechpartner*innen sein.

Eine deutliche Steigerung an Radonsanierungen (z. B. im Ergebnis eines Förderprogramms) brächte einen hohen Beratungsbedarf und infolgedessen einen Aus- bzw. Weiterbildungsbedarf für Berater*innen und Sanierungsfirmen mit sich. Fehlende qualifizierte Berater*innen und Sanierungsdienstleister*innen würden die Wirksamkeit des Förderprogramms behindern. Ein Qualitätssiegel für Radon-Expert*innen und eine einfach auffindbare Expert*innenliste für zertifizierte qualifizierte/fachkompetente Berater*innen und Sanierungsfirmen stellen Ansätze dar, um Vertrauen bei den Wohngebäudeeigentümer*innen zu schaffen und um die erwarteten Gesundheitsschutzeffekte auch tatsächlich zu erzielen.

5.9 FÖRDERPROGRAMM ALS MAßNAHMENPAKET

In den Interviews wurden deutliche Hinweise darauf gewonnen, dass ein Förderprogramm seitens der Zielgruppe als eine Art Maßnahmenpaket interpretiert wird, das über monetäre Anreize hinausgeht. Zu beachten ist dabei:

- Die einzelnen staatlichen Maßnahmen kommen unterschiedlichen individuellen Bedarfen der Wohngebäudeeigentümer*innen nach, beispielsweise dem Bedarf an mehr Informationen, einem vereinfachten Zugang zu Radonmessungen oder an finanzieller Unterstützung der Radonsanierungen. Die Maßnahmen richten sich somit (zumindest teilweise) an unterschiedliche Zielgruppenteile. Ein breites Angebot an unterschiedlichen Maßnahmen, wie es auch bei staatlichen Maßnahmen im Bereich der energetischen Sanierungen zu finden ist, deckt somit möglichst große

und diverse Zielgruppenanteile ab.

- Die Maßnahmen greifen teils verstärkend ineinander, indem beispielsweise im Rahmen einer Beratung auf das Förderprogramm für Radonsanierungen hingewiesen und in der Phase der Beantragung unterstützt wird.
- Ein Förderprogramm für Radonsanierungen bietet nicht nur monetäre Sanierungsanreize, sondern kann auch eine „Signalwirkung“ an Wohngebäudeeigentümer*innen und auch Mieter*innen über die Relevanz von Radonbelastungen in Wohngebäuden auslösen – und somit auch (sofern aktiv kommuniziert) einen potentiell wirksamen Auslöser für Radonmessungen darstellen, welche wiederum zu mehr Radonsanierungen führen würden.

5.10 QUANTITATIVE WIRKUNGSABSCHÄTZUNG

Ausgehend von insgesamt rund 370 000 Gebäuden mit einer Radonbelastung oberhalb des gesetzlich festgelegten Referenzwertes von 300 Bq/m^3 wird abgeschätzt, dass ein Förderprogramm für Radonsanierungen dazu führen kann, dass jährlich rund 15 000 bis 70 000 Wohngebäude mit einer Radonbelastung oberhalb von 300 Bq/m^3 mit Radonmessungen aufgedeckt werden können. Hierbei wird in einigen Szenarien angenommen, dass ein Angebot kostenloser Radonmessungen Teil des Förderprogramms ist. Außerdem wird in allen Szenarien davon ausgegangen, dass reichweitenstarke Informations- und Messkampagnen durchgeführt werden.

Auf dieser Basis wird geschätzt, dass das Förderprogramm in den aufgedeckten Wohngebäuden rund 2 000 bis 22 000 zusätzliche Radonsanierungen hervorrufen kann (mit Annahme, dass alle diese Radonsanierungen mit Inanspruchnahme des Förderprogramms stattfinden).

Unter der Annahme, dass jedes zehnte gemessene Wohngebäude einen Radonwert von über 300 Bq/m^3 aufweist (denkbar für Radonvorsorgegebiete), ergeben sich ca. 150 000 bis 700 000 erforderliche Radonmessungen. Wenn angenommen wird, dass vier Prozent der gemessenen Wohngebäude einen Radonwert von über 300 Bq/m^3 aufweisen (denkbar für sonstige Gebiete in Deutschland), ergeben sich ca. 380 000 bis 1,8 Mio. erforderliche Radonmessungen. Die erforderliche Reichweite der Informationsarbeit, um diese Radonmessungen zu erzielen, liegt bei einem (teils hohen) Vielfachen der Anzahl an erforderlichen Radonmessungen (je nach Kommunikationskanal und Zielgruppenfokus).

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Erkenntnisse dieses FVs fließen in die Überlegungen mit ein, ob und in welcher Form ein Förderprogramm zur Unterstützung von Radonsanierungsmaßnahmen in Deutschland aufgesetzt wird. Darüber hinaus haben die Arbeiten in dem FV weitere Erkenntnisse erbracht, die für die Weiterentwicklung der Öffentlichkeitsarbeit und Risikokommunikation des BFS im Bereich Radon genutzt werden können.

2.2 Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

2.2 *Subject area 02*
Radiation protection techniques

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
3619S22370

Beginn
01.01.2020

Ende
31.08.2021

Fördermittel
EUR 251.211,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin
Projektpartner: Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig

Projektleitung
Dr. J. Krüger (BAM),
B. Pullner (PTB)

Fachbetreuung BfS
M. Baier / MB 6
(verantwortlich für Text unter
Punkt 6)

verantwortlich für den Text
Dr. J. Krüger (BAM), B. Pullner
(PTB), Dr. U. Stolzenberg (PTB)

1. ZIELSETZUNG

Bei der Materialbearbeitung mit ultrakurzen Laserpulsen kann in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussgrößen ionisierende Strahlung entstehen, die unter bestimmten Voraussetzungen die erlaubten Bestrahlungsgrenzwerte in einem strahlenschutzrelevanten Bereich deutlich überschreiten kann. Für die angemessene Berücksichtigung der während der Lasermaterialbearbeitung entstehenden ionisierenden Strahlung im Strahlenschutz ist die genaue Kenntnis des radiologischen Gefährdungspotentials der verschiedenen Bauarten von UKP-Lasersystemen unter Berücksichtigung der unterschiedlichsten Betriebsszenarien erforderlich, um auf eine wissenschaftlich fundierte Datengrundlage zurückgreifen zu können. Diese Datengrundlage war in dem Forschungsvorhaben zu erarbeiten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zur Erreichung des Projektziels wurde zunächst der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik bzgl. des Auftretens ionisierender Strahlung beim Betrieb von UKP-Lasern verschiedenster Bauarten ermittelt. Im nächsten Schritt wurden konservative und realistische Szenarien beim Betrieb von UKP-Lasern dargestellt, wobei sowohl Arbeitsabläufe beim Routinebetrieb als auch mögliche Unfallszenarien zu berücksichtigen waren. Abschließend wurden auf dieser Basis Berechnungen der Expositionen $H^*(10)$ und $H'(0,07)$ für die erarbeiteten Umgangsszenarien durchgeführt.

2.1 ERMITTLUNG DES AKTUELLEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK BZGL. DES AUFTRETENS IONISIERENDER STRAHLUNG BEIM BETRIEB VON UKP-LASERN VERSCHIEDENER BAUARTEN

Die Arbeitsergebnisse zu dieser Teilzielsetzung wurden in einem Zwischenbericht für den Berichtszeitraum vom 01.09.2019 bis 30.06.2020 an das BfS übermittelt.

2.2 ERARBEITUNG KONSERVATIVER WIE AUCH REALISTISCHER SZENARIEN BEIM BETRIEB VON UKP-LASERN

Die Arbeitsergebnisse zu dieser Teilzielsetzung wurden im Abschlussbericht vom 25.11.2021 an das BfS übermittelt.

3. METHODIK

3.1 ERMITTLUNG DES AKTUELLEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK BZGL. DES AUFTRETENS IONISIERENDER STRAHLUNG BEIM BETRIEB VON UKP-LASERN VERSCHIEDENER BAUARTEN

Der Einfluss der Laser-, Material- und Prozessparameter auf das Auftreten von Röntgenstrahlung bei der UKP-Lasermaterialbearbeitung wurde durch Literaturstudien, eigene Messungen und theoretische Abschätzungen ermittelt.

3.2 ERARBEITUNG KONSERVATIVER WIE AUCH REALISTISCHER SZENARIEN BEIM BETRIEB VON UKP-LASERN

Die Auswahl und Definition der dargestellten Umgangsszenarien basieren auf der in Arbeitspaket 1 durchgeführten Recherche und den erarbeiteten Erkenntnissen über den Einfluss der Laserparameter, Materialparameter und Bearbeitungsprozesse auf die entstehende Dosisleistung und den spektralen Verlauf der laserinduzierten Strahlung. Um konservative wie auch realistische Umgangsszenarien evaluieren zu können, wurde eine Datenerhebung in Form einer Onlineumfrage bei Herstellern, Integratoren und Anwendern von UKP-Lasersystemen in der Materialbearbeitung unter Wahrung des Datenschutzes vorgenommen. Der Inhalt der Umfrage teilte sich in vier Themenkomplexe auf: Laserparameter, Fertigungsprozesse, Gehäuse und Umgebung. Die Angaben der beteiligten Anwender und Hersteller decken ein breites Spektrum der im Markt befindlichen Lasermaschinen ab. Die Auswahl der Firmen, bei denen eine Vor-Ort-Datenerhebung in Frage kam, basierte auf zwei Überlegungen. Einerseits wurden für konservative Szenarien alle relevanten abgefragten Parameter mit Gewichten versehen. Die Wahl der Gewichte basierte dabei auf den Erkenntnissen aus Arbeitspaket 1 sowie weiteren Erfahrungswerten von BAM und PTB. Die Angaben zu relevanten Parametern der Firmen wurden miteinander verglichen, sortiert und dann je nach Gewicht mit einem Punktesystem bewertet. Die Gesamtpunkte jeder Firma stellten somit eine gute Abschätzung dafür dar, wie wahrscheinlich es ist, ein konservatives Szenario an einer Anlage der Firma einstellen zu können. Andererseits wurde aber auch darauf geachtet, mit der Auswahl ein möglichst breites Spektrum an Anwendungen und Fertigungsprozessen sowie Materialien abzudecken, um unterschiedliche realistische Szenarien erfassen zu können. Auf Basis dieses Bewertungssystems wurden zunächst drei Firmen für Vor-Ort-Messungen ausgewählt. Bei zwei Firmen konnten trotz Einschränkungen durch die Corona-Pandemie Messkampagnen realisiert werden.

3.3 BERECHNUNGEN DER STRAHLENEXPOSITIONEN $H^*(10)$ UND $H'(0,07)$ FÜR DIE ERARBEITETEN UMGANGSSZENARIEN

Die Strahlenexposition wurde ermittelt, indem zunächst aus dem gemessenen Röntgenspektrum der spektrale Photonenfluss in Einheiten [Photonen/Stunde/Quadratmeter/Bandbreite] errechnet wurde. Die spektrale Dosisleistung wurde für eine festgelegte Entfernung zum Bearbeitungspunkt aus dem spektralen Photonenfluss mit in der Literatur zur Verfügung stehenden Konversionskoeffizienten berechnet. Diese Berechnungen wurden für die Personendosen $H_p(0,07)$ und $H_p(10)$ durchgeführt. Die Integration der so gewonnenen spektralen Dosisleistungen über die Energie lieferte die in dem betrachteten Abstand zu erwartenden Personendosen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERMITTLUNG DES AKTUELLEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK BZGL. DES AUFTRETENS IONISIERENDER STRAHLUNG BEIM BETRIEB VON UKP-LASERN VERSCHIEDENER BAUARTEN

Die Arbeiten zu diesem Arbeitspaket wurden zwischen dem 01.09.2019 und dem 30.06.2020 durchgeführt. Der Zwischenbericht wurde am 30.06.2020 an das BfS übermittelt.

4.2 ERARBEITUNG KONSERVATIVER WIE AUCH REALISTISCHER SZENARIEN BEIM BETRIEB VON UKP-LASERN

Die Untersuchungen zu konservativen und realistischen Umgangsszenarien wurden vom 01.07.2020 bis zum 30.06.2021 durchgeführt. Die Ergebnisse der internetbasierten Datenerhebung wurden dem BfS im Rahmen eines Online-Projektgesprächs am 25.11.2020 präsentiert. In der Arbeitsplanung war vorgesehen, alle relevanten Eigenschaften des Laserbetriebs zu erfassen und in das entsprechende Szenario einzuordnen. Sofern Daten fehlen, sollten diese vor Ort, d. h. beim Anwender oder Laserhersteller, ermittelt werden. Deshalb fanden zwei Messreisen zu zwei verschiedenen Firmen statt; die erste Messreise vom 13.04.2021 bis zum 16.04.2021 und die zweite Messreise vom 25.05.2021 bis zum 28.05.2021.

4.3 BERECHNUNGEN DER STRAHLENEXPOSITIONEN $H^*(10)$ UND $H'(0,07)$ FÜR DIE ERARBEITETEN UMGANGSSZENARIEN

Die Untersuchungen zu diesem Arbeitspaket wurden zwischen dem 01.07.2021 und dem 31.10.2021 durchgeführt. Dabei wurden die Ergebnisse aus den Messreisen und Daten von BAM und PTB verwendet.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERMITTLUNG DES AKTUELLEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK BEZÜGLICH DES AUFTRETENS IONISIERENDER STRAHLUNG BEIM BETRIEB VON UKP-LASERN VERSCHIEDENER BAUARTEN

Die Erzeugung ionisierender Strahlung bei der UKP-Lasermaterialbearbeitung ist von mehreren Parameterfeldern (Laser-, Material- und Prozessparameter) abhängig. Die Dosisleistung der emittierten Röntgenstrahlung kann um mehrere Größenordnungen variieren. Zu den Laserparametern zählen die Bestrahlungsstärke, die Pulsdauer, die Wellenlänge, die Pulsenergie, die Pulsfolgefrequenz (Burstmodus als Spezialfall), die Polarisierung sowie die Fokussierungsbedingungen, aus denen der Fokusedurchmesser des Laserstrahls auf dem Werkstück und folgend die Laserfluenz (Pulsenergie/Fläche) und Intensität (Fluenz/Pulsdauer) bzw. Bestrahlungsstärke resultieren. Zu den Materialparametern gehören die Elementzusammensetzung des Werkstücks und die Oberflächenbeschaffenheit. Prozessseitig kann auf verschiedene Weise eine Relativbewegung zwischen Werkstück und Laserstrahl realisiert werden. Für eine flächige Oberflächenmodifizierung werden häufig Scanner eingesetzt. Das Zusammenspiel von Scangeschwindigkeit und Pulsfolgefrequenz führt zu variierenden geometrischen Pulsabständen. Während der Laserbearbeitung ändert sich durch den Materialabtrag lokal der Einfallswinkel.

Eigene experimentelle Untersuchungen zeigten, dass die im Bremsstrahlungsspektrum enthaltene Photonenenergie quadratisch mit der Laserpulsenergie (bzw. Laserfluenz) bei der scannenden Bearbeitung von (unbearbeitetem) Aluminium skaliert. Besonders hohe Dosisleistungswerte für die emittierte Röntgenstrahlung wurden beim Laserdrehen an (unbearbeitetem) Stahl im Burstmodus festgestellt. Weitere experimentelle Daten Dritter weisen darauf hin, dass die Röntgendosisleistung linear mit der Fokusfläche ansteigt.

Die aktuellen lasertechnologischen Entwicklungen lassen erwarten, dass in naher Zukunft durch die Nutzung von Pulsfolgefrequenzen im MHz- bis GHz-Bereich und Einzelpulsenergien im mJ-Bereich Laserleistungen im kW-Bereich in der UKP-Lasermaterialbearbeitung Einzug halten werden. Diese Leistungen sind um mehr als eine Größenordnung höher als die in den bisherigen Publikationen zur unerwünschten Röntgenemission genutzten Leistungen.

5.2 ERARBEITUNG KONSERVATIVER WIE AUCH REALISTISCHER SZENARIEN BEIM BETRIEB VON UKP-LASERN

Um relevante Informationen von einer möglichst großen Auswahl von Anwendern, Herstellern und Integratoren von UKP-Lasern zu erhalten, wurde eine Online-Umfrage erstellt. Die Umfrage basierte auf dem Content-Management System TYPO3. Im Zeitraum der Umfrage zwischen August und Oktober 2020 nahmen insgesamt sieben UKP-Laser Anwender, Hersteller und Integratoren an der Befragung

teil. Eine Firma nahm mit zwei Systemen an der Umfrage teil. Die Firmen werden hier nicht namentlich genannt, da die Auswertung und Präsentation der Umfrageergebnisse anonymisiert durchgeführt wurde. Stattdessen wurden die Firmen chronologisch nach dem Zeitpunkt der Teilnahme sortiert (Firma 1 bis Firma 7). Für die Erstellung der Szenarien wurden darüber hinaus auch Daten von BAM und PTB genutzt.

Wesentliche Parameter der Lasermaschinen aus der Online-Umfrage bzw. der Gegebenheiten vor Ort werden in den folgenden Abbildungen 1 bis 3 visualisiert. Abbildung 1 zeigt, dass die mittleren Laserleistungen zwischen 5 W und 200 W liegen. Die maximale Bestrahlungsstärke auf dem Werkstück erreicht bei allen Firmen (bis auf Firma 6) den relevanten Bereich größer als 10^{13} W/cm^2 und reicht bis 10^{15} W/cm^2 . Die maximale Bestrahlungsstärke des Lasers von Firma 6 beträgt $2 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$.

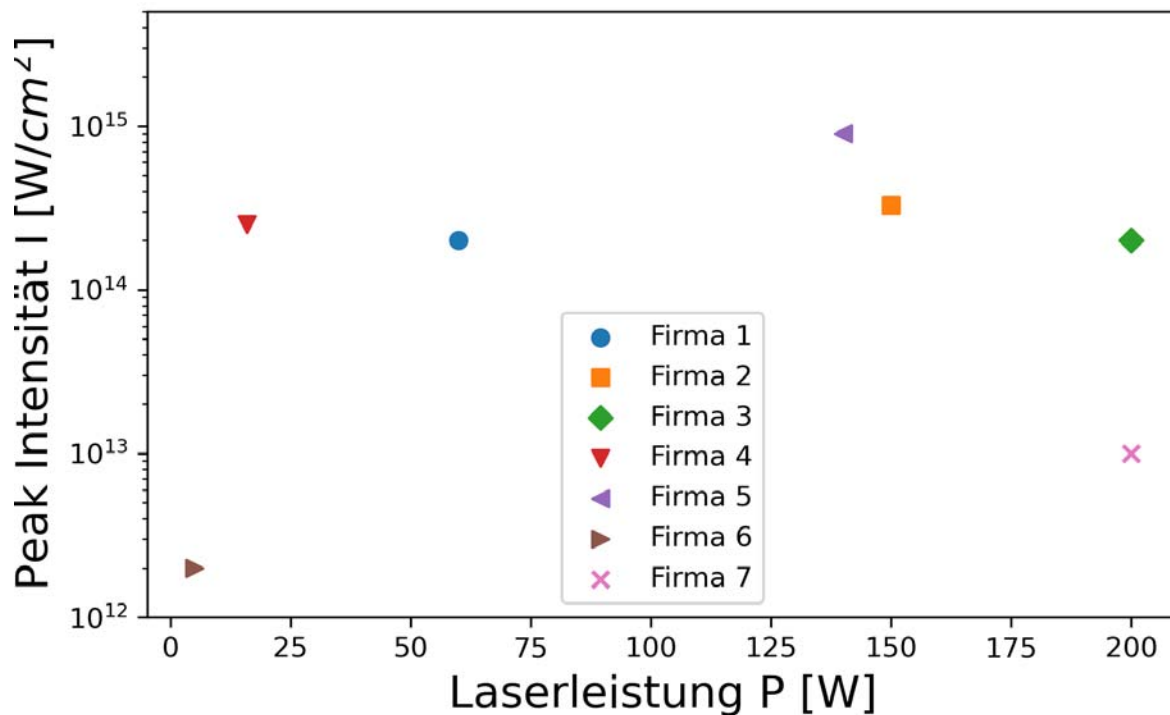


Abbildung 1: Maximale Bestrahlungsstärke (Peak Intensität) und maximale mittlere Laserleistung der Lasermaschinen der teilnehmenden Firmen

Das Diagramm in Abbildung 2 stellt die Stärke des Schutzgehäuses und das Schutzgehäusematerial der jeweils leistungsstärksten UKP-Laseranlage der teilnehmenden Firmen dar. Die meisten Schutzgehäuse bestehen aus Stahl. Es gibt aber auch zwei Angaben zu einem Aluminiumgehäuse mit Stärken von 1 mm und 2 mm. Bei diesen Anlagen ist die Schutzwirkung des Schutzgehäuses durch das kleinere Absorptionsvermögen von Röntgenstrahlung von Aluminium gegenüber Stahl deutlich reduziert. Als Material des Schutzgehäuses gab Firma 6 „Metall“ an.

Ein weiteres interessantes Parameter-Paar beschreibt die räumliche Nähe des Personals zum Fokuspunkt des Lasers und damit zum Plasma, das die Röntgenstrahlung emittiert. Das Diagramm in Abbildung 3 zeigt den Abstand des Personals zum Fokuspunkt des Lasers und den Abstand zur nächsten UKP-Laseranlage. Der Abstand zum Plasma ist bei Firma 5 mit 73 cm besonders gering. Der Abstand zu anderen UKP-Laseranlagen ist mit einem Meter bei dieser Firma ebenfalls niedrig. Solch geringe Abstände von der Quelle der Röntgenstrahlung und das Vorhandensein von möglicherweise mehreren Röntgenquellen im Umkreis um den Arbeitsplatz des Personals stellt bei unzureichender Abschirmung durch das Schutzgehäuse eine zusätzliche Gefährdung dar.

Auf Basis des o. g. Bewertungssystems wurden die Firmen 1, 5 und 7 für Vor-Ort-Untersuchungen ausgewählt. Bei den Firmen 5 und 7 fanden dann Messkampagnen statt. Firma 7 war hinsichtlich der Untersuchung von konservativen Szenarien interessant, weil bei ihrem leistungsstärksten Laser ein Burstmodus mit vielen Optionen verfügbar ist. Hinzu kommt, dass ein Schutzgehäuse aus Aluminium vorlag

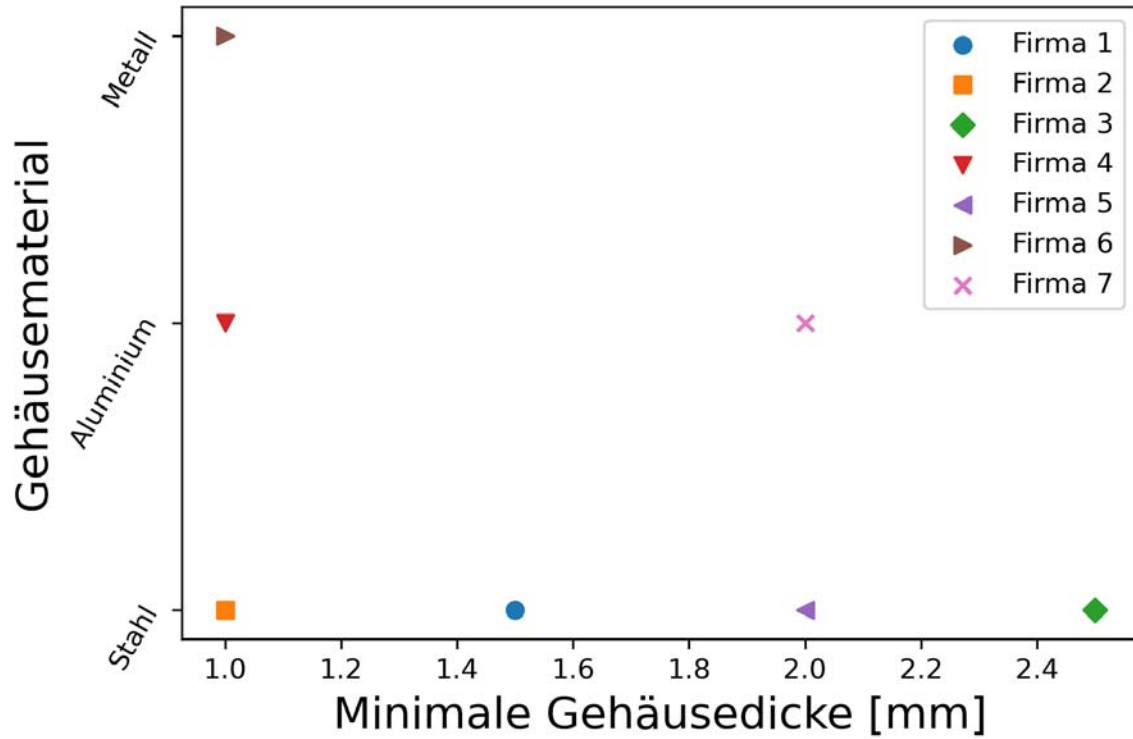


Abbildung 2: Stärke des Gehäuses und Angabe des Gehäusematerials der teilnehmenden Firmen.

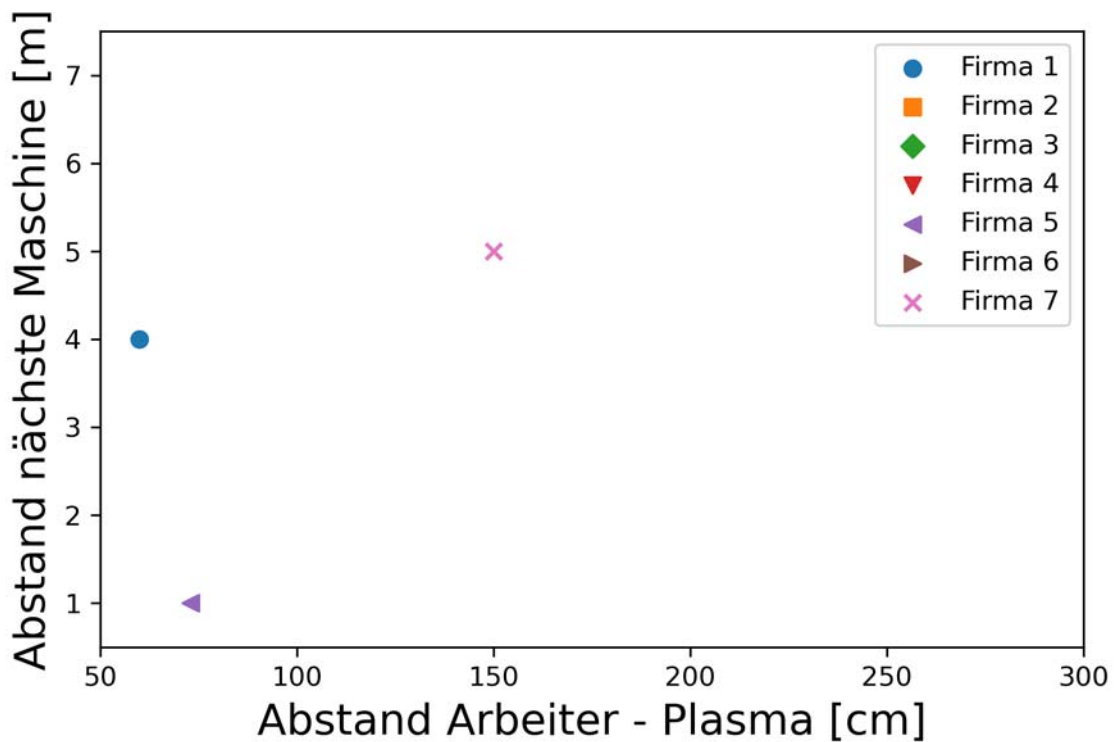


Abbildung 3: Abstand zwischen dem Personal und dem laserinduzierten Plasma und Abstand zur nächsten Maschine. Die Firmen, für die kein Datenpunkt im Diagramm vorhanden ist, haben angegeben, dass sich während des Betriebs kein Personal an der UKP-Laseranlage befindet.

und eine vergleichsweise hohe Laserleistung von 200 W erreicht werden konnte. Hinsichtlich Routine-Szenarien war diese Firma ebenfalls relevant, da es sich um einen internationalen Technologiekonzern handelte, der sich auf die Herstellung und Bearbeitung von Glas und Glaskeramiken spezialisiert hat.

Firma 5 war hinsichtlich der Untersuchung von konservativen Szenarien interessant, weil hohe mittlere Laserleistungen von bis zu 140 W erreicht werden konnten und gleichzeitig sich das Personal sehr nah, in einer Entfernung von nur etwa 70 cm, am Plasma befand. Außerdem waren mit dieser UKP-Laseranlage viele verschiedene Bearbeitungsprozesse einstellbar, was auch für die Untersuchung von unterschiedlichen Routineszenarien vorteilhaft war.

Trotz umfangreicher Erfahrung mit der Erzeugung von laserinduzierter Strahlung, langer Vorbereitung auf die Messungen und hoher Laserleistungen konnten bei Firma 7 bei der Bearbeitung von Wolfram (das Material, das für das Worst-Case-Szenario ausgewählt wurde) keine hohen Umgebungs-Äquivalentdosisleistungen nachgewiesen werden. Dafür gab es mehrere Gründe. Zum einen wurde viel Material abgetragen, was zu viel Materialüberresten in der Luft nahe der Werkstoffoberfläche führte. Diese Überreste haben dafür gesorgt, dass Röntgenstrahlung stärker absorbiert wurde als erwartet und die Bestrahlungsstärke des Lasers auf dem Werkstück vermindert wurde. Zum anderen lag das Plasma, d. h. die Quelle für die laserinduzierten Röntgenphotonen, tief im Material. Aus diesem Grund wurde ein Großteil der Röntgenphotonen im Material selbst absorbiert und gelangte nicht bis zu den Messgeräten. Hinzu kam, dass die Messgeräte auf Grund von Sicherheitssystemen im Innenraum nicht in Richtung der erwarteten Emissionsrichtung der Röntgenstrahlung positioniert werden konnten. Deshalb konnten keine konservativen Szenarien bei den Messungen bei Firma 7 untersucht werden. Allerdings wurde ein typisches Routineszenario für die Glasbearbeitung untersucht. Bei diesem Szenario mit einer Spitzen-Intensität von etwa 1×10^{13} W/cm² konnte keine Röntgenemission nachgewiesen werden.

Wie schon bei Firma 7 haben die Messungen bei Firma 5 gezeigt, dass trotz leistungsstarken UKP-Lasern und einiger Erfahrung des Maschinen-Personals mit laserinduzierter Strahlung deutlich niedrigere Umgebungs-Äquivalentdosisleistungen gemessen wurden als erwartet. Dieses wurde auf thermische Prozesse in der Fokussieroptik zurückgeführt, die die Fokussierung des Laserstrahls auf dem Werkstück verschlechtern und dadurch die tatsächlich auf dem Werkstück vorliegende Bestrahlungsstärke vermindern. Aus diesen Gründen war es nicht möglich, konservative Szenarien bei Firma 5 zu vermessen. Es wurden vier Routineszenarien untersucht. Nur für zwei dieser vier Szenarien konnten Photonenenergien der laserinduzierten Strahlung ermittelt werden. Die Photonenenergien lagen unterhalb von etwa 20 keV und können dementsprechend auch von dünnen Stahlgehäusen absorbiert werden. Für die Flächenbearbeitung und den Feinschneidprozess wurden im Innenraum und in einem Abstand von etwa 26 cm eine Umgebungs-Äquivalentdosisleistung von wenigen μ Sv/h gemessen.

Die o. g. Gegebenheiten während der Messungen bei den Firmen machen klar, dass es nicht trivial ist, mit einer UKP-Laseranlage einen Bearbeitungsprozess zu finden, bei dem hohe Emissionen von Röntgenstrahlung erzeugt werden können. Um ein konservatives oder gar ein Worst-Case-Szenario einzustellen, müssen nicht nur die Laserparameter optimiert werden. Auch die Optiken müssen den erhöhten Bestrahlungsstärken standhalten. Die Absaugung muss leistungsstark genug sein, um das abgetragene Material vollständig zu entfernen, bevor es sich auf der Optik absetzt. Die Sicherheitssysteme müssen das Platzieren von Messgeräten an den optimalen Stellen ermöglichen.

Basierend auf den Untersuchungen bei den Firmen 5 und 7 wurden insgesamt fünf Routineszenarien (Glasbearbeitung, Flächenbearbeitung, Feinschneiden, Laserdrehen und Einstechen) bestimmt. Auf Grund der insgesamt niedrigen gemessenen Umgebungs-Äquivalentdosen wird hier davon abgesehen, konservative Szenarien zu definieren. Stattdessen wird im Arbeitspaket 3 auf der Grundlage des von der BAM an der UKP-Laseranlage der BAM bestimmten spektralen Photonenflusses gearbeitet.

5.3 BERECHNUNGEN DER STRAHLENEXPOSITIONEN $H^*(10)$ UND $H'(0,07)$ FÜR DIE ERARBEITETEN UMGANGSSZENARIOEN

In Vor-Ort-Messungen bei industriellen Anwendern mit den zurzeit verfügbaren leistungsstärksten Laseranlagen musste festgestellt werden, dass eine Worst-Case-Strahlenexposition nicht durch die Einstellung einer Kombination von Worst-Case-Laserparametern reproduziert werden kann, sofern die technischen Komponenten der Lasermaterialbearbeitungsmaschine (im Regelfall) für die Routine-La-

sermaterialbearbeitung optimiert wurden. Infolgedessen konnten in den Vor-Ort-Messungen keine erhöhten Strahlenexpositionen nachgewiesen werden.

Die Online-Umfrage hat ergeben, dass die zurzeit in der industriellen Lasermikromaterialbearbeitung genutzten Anlagen weitgehend mit den an der PTB und der BAM verfügbaren Lasermaschinen vergleichbar sind. Für die Berechnung der Strahlenexposition bei konservativen Szenarien bzw. den Unfallszenarien wurden die an der BAM und der PTB gewonnenen Messdaten herangezogen, da im Vergleich zu den Vor-Ort-Untersuchungen bei den Anwendern hier durchgängig höhere Röntgenemissionen gemessen wurden. Um einen konsistenten Datensatz im Hinblick auf die Unfallszenarien zu erhalten, wurden für den im industriellen Umfeld genutzten Routinebetrieb ebenfalls die bei diesen Parametern an der BAM und PTB ermittelten Datensätze in den Berechnungen genutzt.

Bei den Unfallszenarien wurde von einem Betrieb der Lasermaterialbearbeitungsanlage mit Routineparametern ausgegangen. Bei den Berechnungen für den Routinebetrieb sowie für verschiedene Unfallszenarien unter Routinebearbeitungsbedingungen zeigte sich, dass Einhausungen aus Stahl für die Gewährleistung des Strahlenschutzes in der Lasermaterialbearbeitung ausreichend sind. Diese Aussage schließt allerdings nicht Bearbeitungsprozesse mit leistungsstärkeren Laseranlagen ein, bei denen die technischen Komponenten an die höheren Leistungen angepasst sind oder Materialbearbeitungsprozesse außerhalb der Lasermikromaterialbearbeitung. Andere Abschirmmaterialien sollten dagegen nicht oder nur bei Einhaltung eines ausreichenden Abstandes zum Bearbeitungspunkt eingesetzt werden. Letzteres trifft für Aluminium als Abschirmmaterial zu.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Um aktuelle und zukünftige Regelungen zur risikoorientierten Bewertung des radiologischen Gefährdungspotentials von UKP-Lasern entwickeln zu können, war die Untersuchung von wissenschaftlich-technischen Fragestellungen (Eigenschaften der lasererzeugten Röntgenstrahlung bei verschiedenen Geräten, Strahlenschutzanforderungen, Parameter zur Charakterisierung des Gefährdungspotentials etc.) beim Umgang mit UKP-Lasern notwendig. Diese erfolgte anhand des vorliegenden Forschungsvorhabens und kann dem BMUV folglich als wissenschaftlich fundierte Basis zur Weiterentwicklung des aktuell geltenden Rechts dienen. Zusätzlich dient dieses Vorhaben als wissenschaftliche Grundlage für das Folgevorhaben ReFo 3620S 22373 „Entwicklung von Prüfkonzepten für die Gewährleistung des Strahlenschutzes beim Betrieb von Ultrakurzpuls-Lasern“, innerhalb dessen Prüfverfahren für UKP-Laser z. B. im Rahmen der Genehmigung gemäß §12 StrlSchG und Bauartzulassung gemäß § 45 StrlSchG entwickelt werden.

2.3 Themenbereich 03

Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung, Strahlenempfindlichkeit

2.3 *Subject area 03*

Radiation Biology - Effects of ionising and non-ionising radiation, radiosensitivity

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

20.12.2018

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 sollte der vorliegende Stand von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens aufgearbeitet, die relevanten bisherigen Arbeiten zusammengefasst und maßgebliche Unterlagen und Veröffentlichungen identifiziert werden.

2.2 EXPOSITION DER MÄUSE UND BEOBACHTUNG DER LEUKÄMIEENTWICKLUNG

In diesem Projekt sollte das Sca1-ETV6-RUNX1-Mausmodell, das die häufigste bei Kindern anzutreffende präleukämische Gentranslokation ETV6-RUNX1 trägt, eingesetzt werden, um zu testen, ob die Exposition mit Niedrigdosisstrahlung onkogene Mutationen (als sogenannten zweiten "Hit") verursachen kann. Die Leukämieentwicklung nach Bestrahlung sollte beobachtet und die sich entwickelnden Leukämien phänotypisch charakterisiert werden.

2.3 CHARAKTERISIERUNG DER STRAHLENINDUZIERTEN TUMORZELLEN

Die genetischen Veränderungen in den auftretenden, strahlungsinduzierten Leukämien der Mäuse sollten erfasst, verglichen und auf strahlungsbedingte Mutationsmuster hin untersucht werden. Die Ergebnisse sollten mit publizierten, sekundären Alterationen der murinen und der humanen ETV6-RUNX1-positiven-pB-ALL¹⁾ verglichen werden, um ein umfassendes Bild von spezifischen,

¹⁾ eine Untergruppe der Akuten Lymphatischen Leukämie

ETV6-RUNX1-assoziierten, sekundären genomischen Veränderungen als Folge von niedrigdosierter Bestrahlung zu liefern.

3. METHODIK

Zunächst wurden Online-Literaturrecherchen (Pubmed-Datenbank) zum aktuellen Stand der Wissenschaft durchgeführt und die geplante experimentelle Vorgehensweise geprüft.

Dann 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 und 50 mGy) bestrahlt bzw. scheinbestrahlt. Das Auftreten von Leukämien wurde bis zu einem Alter der Tiere von zwei 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

Kohorten von jeweils 30 Sca1-ETV6-RUNX1-Mäusen wurden 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 wurden bis zu einem Alter von zwei Jahren regelmäßig durch Blutkontrollen auf das Vorliegen von Leukämien untersucht. Tiere, die Merkmale einer Leukämie aufwiesen, wurden getötet und den üblichen Nekropsieverfahren unterzogen. Makroskopisch, histologisch, durchflusszytometrisch und molekularbiologisch wurden Gewebeinfiltration, Tumor-Zellzahl und Tumor-Klonalität in hämatopoetischen Organen untersucht. Makroskopisch wurden die Größe der Milz, Tumordinfiltrationen und die Zellzahlen in hämatopoetischen Organen untersucht. Milz und Knochenmark wurden nach Hämatoxylin-Eosin-Färbung auch histologisch untersucht. Blutzellen aus den hämatopoetischen Organen wurden durchflusszytometrisch untersucht. Dazu wurden die kernhaltigen Zellen aus dem Knochenmark, dem peripheren Blut, dem Thymus, der Milz und den Lymphknoten gewonnen. Kontaminierende Erythrozyten wurden 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 wurden insgesamt mindestens 50 000 vitale (PI¹-negative) Zellen bewertet. Dabei wurden die B-Zell-Entwicklungsstadien wie folgt definiert:

- Pro-B-Zellen (CD19⁺, c-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})
- folliculäre B-Zellen (B220⁺, CD21^{int}, CD23^{Hi}).

¹) Propidiumiodid

Zur molekularbiologischen Analyse der Klonalität der Tumorzellen wurde genomische DNA aus Tumorzellen sowie aus CD19⁺-sortierten Wildtyp-Splenozyten als positive Kontrolle isoliert. Immunglobulin-Rearrangements wurden dann mit Hilfe einer PCR mit spezifischen Primern und anschließender Gelelektrophorese analysiert.

4.3 CHARAKTERISIERUNG DER STRAHLENINDUZIERTEN TUMORZELLEN

Für die Herstellung der Maus-Exom-Bibliotheken und die Sequenzierung der nächsten Generation wurde zunächst die DNA aus den Leukämie- und Kontrollproben mittels des AllPrep DNA/RNA Mini Kits (Qiagen) gemäß den Anweisungen des Herstellers isoliert und aufgereinigt. Die Exom-Bibliotheken wurden mit Hilfe des Agilent SureSelectXT Mouse All Exon Kits durchgeführt. Das gezielte Exom-Capture durch Hybridisierung an eine RNA-Bibliothek erfolgte nach dem Protokoll des Herstellers (Agilent). Die Reinigung und Anreicherung dieser Bibliothek erfolgte durch Bindung an MyOne Streptavidin T1 Dynabeads (Life Technologies) und Off-Bead-PCR-Amplifikation im linearen Bereich. Die anschließende Sequenzierung der Bibliotheken wurde mittels 2x150 bp Paired-End-Sequenzierung, 6 bp Index-Reads und dem High Output Reagent Kit v2.5 (300 Zyklen) auf der NextSeq550-Plattform (Illumina) durchgeführt.

Im nächsten Schritt wurden die Daten analysiert. Dazu wurden zunächst Fastq-Dateien mit Bcl2Fastq 1.8.4 (Illumina) erzeugt. Die BWA-Version 0.7.4. wurde verwendet, um die erhaltenen Sequenzdaten an das Mausreferenzgenom (GRCm38.71) zu alignieren. Konvertierungsschritte wurden mit Samtools durchgeführt, gefolgt von der Entfernung von PCR-Duplikaten mittels Picard (<http://broadinstitute.github.io/picard>). Die lokale Alignierung bei kleinen Insertionen/Deletionen („Indels“, <50bp), das Calling von somatischen Einzelnukleotidvariationen (*single nucleotide variants*, SNV), die Annotierung und die Rekalibrierung wurden mit Hilfe von GATK 2.4.9 durchgeführt. Maus dbSNP138 und dbSNP für die verwendeten Mausstämme wurden als Trainingsdatensätze für die Rekalibrierung verwendet. SNVs und Indels wurden mit Mutect und VarScan gecallt. Zusätzlich wurden Indels mit Hilfe von Platypus gecallt. Die identifizierten Varianten wurden mit dem Variant Effect Predictor (VEP) unter Verwendung der Ensembl-Datenbank (v70) annotiert. Zusätzlich wurden Scores der Softwaretools SIFT und PolyPhen hinzugefügt, die einen potentiellen Funktionsverlust der betroffenen Gene/Proteine vorhersagen. Um falsch-positive Varianten herauszufiltern, wurden nur solche Varianten in der finalen Auswertung berücksichtigt, die eine Allelfrequenz von mindestens 10 % im Tumor haben und deren Position im dazugehörigen Normalgewebe ausreichend abgedeckt ist (mit jeweils mindestens 10 Sequenzierungs-Reads). Gene, die in ursächlichem Zusammenhang mit Krebs bekannt sind, wurden mittels der Genliste des Cancer Gene Consensus (CGC, COSMIC Datensatz) identifiziert. Zur Analyse der Mutationssignaturen wurden die Exom-Daten einem standardisierten Alignment mit BWA-mem unterzogen. In einem Vorverarbeitungsschritt, bestehend aus GATK Realignment, Recalibrierung und Trimming, wurden Einzelnukleotidvarianten für die pB-ALL-Proben der bestrahlten *Sca1-ETV6-RUNX1*-Mäuse (n=6) sowie für Kontrollproben (Infektions-getriggerte pB-ALL-Proben von nicht bestrahlten *sca1-ETV6-RUNX1*-Mäusen, n=16) mit Platypus Version 0.8.1 und Standardparametern bestimmt. Kontrollvarianten wurden gepoolt und aus der Variantenliste der einzelnen Tumorproben entfernt und umgekehrt. Außerdem wurden alle Varianten mit einem Qualitätsscore <100 aussortiert. Mutationssignaturanalysen wurden anschließend mit dem R/Bioconductor-Paket MutationalPatterns, Version 1.6.169, durchgeführt. Die Mutationssignaturen Version 3.2 im COSMIC Release v93 wurden für die Analysen verwendet.

5. ERGEBNISSE

5.1 EXPOSITION DER MÄUSE UND BEOBACHTUNG DER LEUKÄMIEENTWICKLUNG

Von 120 *Sca1-ETV6-RUNX1*-Mäusen, die im Alter von einem Monat einmalig bestrahlt bzw. scheinbestrahlt (2 Gy, 0,5 Gy, 50 mGy, 0 Gy, n=30 je Behandlung) wurden, erkrankten im zeitlichen Verlauf insgesamt sieben Mäuse an einer prä-B-Zell-Leukämie (Abbildung 1, Tabelle 1).

Keine der scheinbestrahlten Mäuse oder der Mäuse, die einer geringen Strahlungsdosis (50 mGy) ausgesetzt waren, erkrankte an einer Neoplasie. Drei der sieben an pB-ALL erkrankten Mäuse wurden mit 0,5 Gy behandelt und erkrankten im Alter von 6, 19 und 21 Monaten, d. h. 5, 18 bzw. 20 Monate nach

der Bestrahlung. Vier der sieben Mäuse wurden mit der höchsten Dosis (2 Gy) bestrahlt und erkrankten im Alter von 6, 10, 11 und 16 Monaten an einer pB-ALL. Die Inzidenz der pB-ALL war nach der Gamma-bestrahlung nur in der 2-Gy-Bestrahlungsgruppe signifikant erhöht (p-Wert=0,0350). Die Gesamtüberlebenszeit war jedoch sowohl in der 0,5-Gy- als auch in der 2-Gy-Bestrahlungsgruppe signifikant verringert (p-Wert=0,0196 bzw. p-Wert=0,0043). In den analysierten Kohorten traten in der zeitlichen Nachverfolgung nach Bestrahlung vier andere Neoplasien auf. Zwei der Mäuse aus der 2-Gy-Bestrahlungsgruppe litten an neoplastischen B-Zell-Erkrankungen, die von reiferen B-Zellen ausgingen (B-Zell-Lymphom, reife B-Zell-Leukämie). In den mit 2 Gy und 0,5 Gy bestrahlten Gruppen trat außerdem je eine Maus mit einer T-Zell-Leukämie auf (T-ALL, im Alter von 16 bzw. 21 Monaten). Das Auftreten der pB-ALL bei *Sca1-ETV6-RUNX1*-Mäusen manifestierte sich mit Splenomegalie, einer Störung der Milzarchitektur aufgrund von Tumordinfiltration und dem Auftreten von Blastenzellen im Knochenmark und im peripherem Blut. Die durchflußzytometrische Analyse ergab einen unreifen B-Zell-Immunphänotyp ($CD19^-/B220^{to\ low}/IgM^{to\ low}$) der Tumorzellen im Knochenmark (Abbildung 2) sowie in Milz und peripherem Blut. Die molekularbiologische Analyse der Immunglobulin-Rearrangements mittels PCR und spezifischen Primern zeigte ein klonales, unreifes B-Zell-Rezeptor-Rearrangement in den Tumorzellen im Vergleich zu polyklonalen Rearrangements in $CD19^+$ -sortierten Wildtyp-Splenozyten (Abbildung 3).

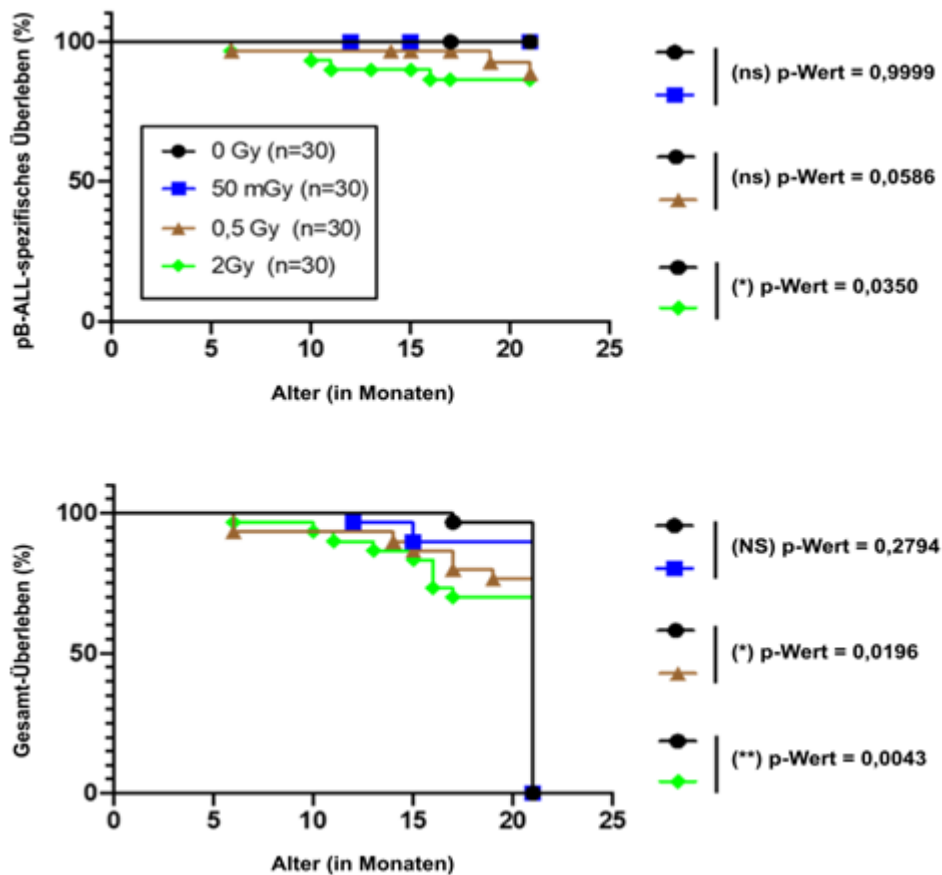


Abbildung 1: Überleben bestrahlter und scheinbestrahlter transgener *Sca1-ETV6-RUNX1*-Mäuse. Oben: Das pB-ALL spezifische Überleben der *Sca1-ETV6-RUNX1* Mäuse nach Bestrahlung mit einer einzigen Dosis Gamma-Strahlung (50 mGy, 0,5 Gy bzw. 2 Gy, n=30 je Kohorte, s. Legende) bzw. Scheinbestrahlung (0 Gy, n=30) ist gezeigt. Unten: Gesamtüberleben der in der oberen Abbildung gezeigten Mauskohorten (Log-rank. Log-rank (Mantel-Cox)-Test, p-Werte sind gezeigt. Die statistischen Analysen wurden mit GraphPad Prism v5.01 (GraphPad Software) durchgeführt (ns: nicht signifikant).

Tabelle 1: Übersicht über die analysierten bestrahlten bzw. scheinbestrahlten

***sca1-ETV6-RUNX1*-Maus-Kohorten und das Auftreten von pB-ALL und weiteren Tumoren in der Nachverfolgung**

Bestrahlungsdosis (Gy)	pB-ALL (n, %)	Andere B-Zelltumore	T-Zelltumore
0 Gy	0/30, 0 %	0/30, 0 %	0/30, 0 %
50 mGy	0/30, 0 %	0/30, 0 %	0/30, 0 %
0,5 Gy	3/30, 10 %	0/30, 0 %	1/30, 3,3 %
2 Gy	4/30, 13,3 %	2/30, 6,6 %	1/30, 3,3 %

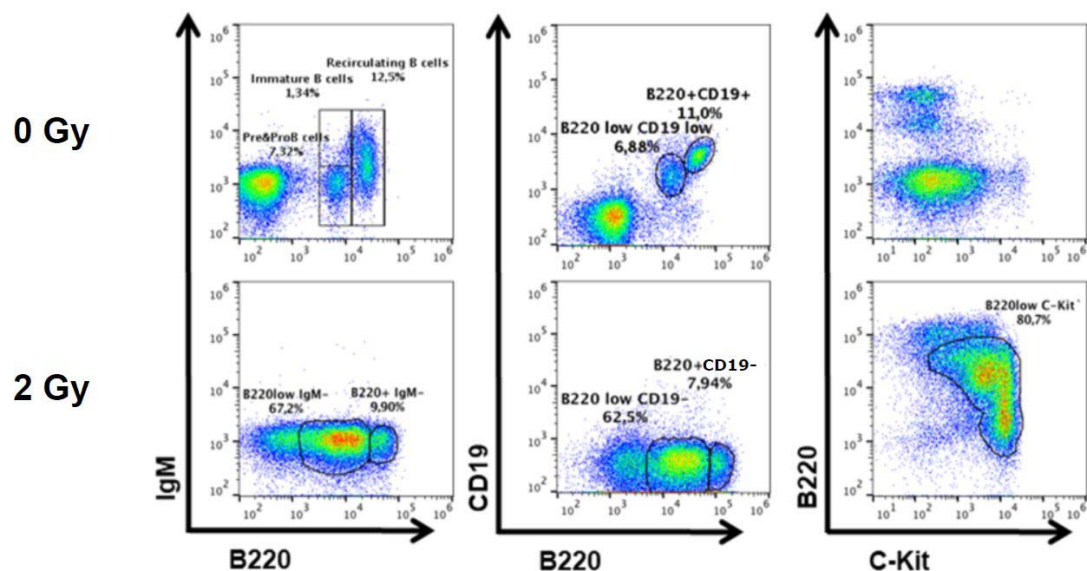


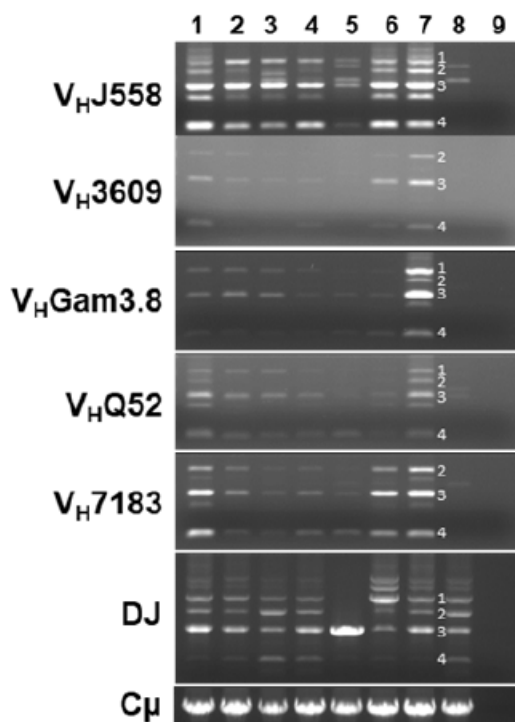
Abbildung 2: Durchflusszytometrische Charakterisierung der *Sca1-ETV6-RUNX1*-Leukämien.

Dargestellt sind hämatopoetische Zellpopulationen aus dem Knochenmark einer erkrankten *Sca1-ETV6-RUNX1*-Maus aus der 2 Gy-Bestrahlungsgruppe im Vergleich zu einer altersgleichen gesunden, scheinbestrahlten *Sca1-ETV6-RUNX1*-Maus (0 Gy-Bestrahlungsgruppe). Die repräsentative Darstellung zeigt die Anhäufung von unreifen B-Zell-Blasten (CD19⁻, B220^{low}, IgM⁻, c-Kit⁺) in der leukämischen *Sca1-ETV6-RUNX1*-Maus.

5.2 CHARAKTERISIERUNG DER STRAHLENINDUZIERTEN TUMORZELLEN

5.2.1 Ganz-Exom-Sequenzierung und Analyse onkogener Mutationen

Zur Durchführung der Ganz-Exom-Sequenzierung von leukämischen Zellen wurde die Tumor-DNA aus dem leukämischen Gewebe (Knochenmark, Lymphknoten oder Milz) mit der größten Menge an Blastenzellen in den erkrankten Mäusen gewonnen. Aus der Schwanzspitze der jeweiligen Maus wurde DNA als Referenz-Keimbahnmaterial extrahiert. Sieben pB-ALL traten bei den einmalig mit 0,5 (n=3, 10 %) und 2 Gy (n=4, 13,3 %) bestrahlten *Sca1-ETV6-RUNX1*-Mäusen auf. Nur in einem Fall (bestrahlt mit 0,5 Gy) konnte von dem Tumor keine DNA isoliert werden. Sechs strahleninduzierte pB-ALL und die dazugehörigen Keimbahnkontrollen wurden dann einer Ganz-Exom-Sequenzierung unterzogen, um die genetischen Veränderungen der Leukämien zu bestimmen und im Vergleich zu nicht exponierten Zellen zu erfassen (Tabelle 2). Die Tumore 1, 3, 4 und 5 wiesen eine geringe Zahl an somatischen SNV auf (10-42 SNV) vergleichbar mit Befunden in infektionsinduzierten Leukämien in diesem Mausmodell und in humanen *ETV6-RUNX1*-positiven pB-ALL mit durchschnittlich 10-14 somatischen SNV. Die strahleninduzierten Tumore 2 und 6 waren im Vergleich hypermutiert (192 bzw. 78 SNV). Dies liegt vermutlich an der Art der induzierten Mutationen in den Tumoren 2 und 6 (z. B. in DNA-Reparaturgenen wie *Atm*). Es wurde kein Unterschied in der Zahl der somatischen SNV in Abhängigkeit von der Strahlendosis festgestellt. Anhand einer *In silico*-Vorhersage mittels der Computerwerkzeuge SIFT und Polyphen wurden somatische SNV, die schädlich für die Proteinfunktion sind, identifiziert. In Genen, die bekannt



Probenauftrag:

- | | | |
|-------------------------|--|--------|
| 1. M180 | | 0,5 Gy |
| 2. M270 | | |
| 3. M747 | | 2 Gy |
| 4. Q908 | | |
| 5. M997 | | |
| 6. Q783 | | |
| 7. B-Zellen, gesund, WT | | |
| 8. T-Zellen, gesund, WT | | |
| 9. H ₂ O | | |

Abbildung 3: Molekularbiologische Charakterisierung des Immunglobulin-Genrearrangements in pB-ALL bestrahlten *Sca1-ETV6-RUNX1*-Mäusen.

Eine Analyse der Klonalität von Leukämien, die in *Sca1-ETV6-RUNX1*-bestrahlten Mäusen auftreten, mittels PCR-Analyse des V-D-J Genrearrangements ist gezeigt. Sortierte CD19⁺ Milz-B-Zellen von gesunden Mäusen dienten als Kontrolle für polyklonale Immunglobulin-Genrearrangements. CD8⁺CD4⁺ T-Zellen aus dem Thymus von gesunden Mäusen und eine Probe ohne DNA-Zugabe (DNA-Volumen durch Wasser ersetzt, „H₂O“) dienten als Negativkontrollen. Probenauftrag wie in der Legende unter Angabe der Identnummern der Mäuse beschrieben.

sind für eine ursächliche Krebsassoziation und deshalb enthalten sind in dem *Cancer Gene Census*-Katalog (COSMIC-Datenbank, Wellcome Sanger Institut, Hinxton, Großbritannien), abgekürzt als „CGC-Gene“, wurden schädliche SNV in vier der strahleninduzierten Tumore (2, 3, 4 und 6) detektiert. Diese sind bereits im Zusammenhang mit pB-ALL beschrieben worden (St. Jude Children's Research Hospital - PeCan Data Portal, Memphis, TN, USA). Mutationen in *ATM*, *SH2B3*, *PTPN11*, und *KRAS* sind auch für die humane *ETV6-RUNX1*-positive pB-ALL beschrieben worden. Mutationen in *SH2B3* und *PTPN11* sind außerdem assoziiert mit einer Keimbahnprädisposition für humane pB-ALL. In den Tumoren 3 und 6 fallen Gene auf, deren Mutationen bekanntermaßen rekurrent in humanen Tumoren auftreten. Diese Mutationen in den CGC-Genen *Jak1*, *Jak3*, *Ptpn11* und *Kras* sind mit einer Erhöhung des Jak-Stat- bzw. des Ras-Mapk-Signalwegs verbunden und ursächlich mit einer erhöhten Proliferation von B-Zellen assoziiert. Eine Go-Term-Analyse (Computerwerkzeug der internationalen Bioinformatikinitiative Gene *Ontology* (GO)) ergab eine signifikante Anreicherung dieser Signalwege (FDR P < 0,05). Für die in den Tumoren 2 und 4 detektierten SNV in Genen, die mit Krebs assoziiert sind, fehlt bisher eine funktionelle Untersuchung, daher ist der Zusammenhang mit der Entstehung der Leukämie noch nicht geklärt. Eine Analyse mittels des PANTHER Überrepräsentationstests (Computerwerkzeug der internationalen Bioinformatikinitiative Gene *Ontology* (GO)) ergab allgemein eine signifikante Anreicherung bestimmter biologischer Funktionen in den strahleninduzierten Tumoren (Fisher-Test, FDR Korrektur), u. a. Proliferation, hämatopoetische Differenzierung und Zytokin-Signalweg, die zur Leukämieentstehung beitragen können. Neben SNV können auch andere Mutationen, wie z. B. kleine Insertionen oder Deletionen (Indels) somatisch in codierenden Genabschnitten induziert und mittels der Ganz-Exom-Sequenzierung analysiert werden. Allerdings wurden in den strahleninduzierten Tumoren in dieser Studie keine somatischen Indels detektiert. *In vitro*-Experimente mit induzierbaren pluripo-

ten Stammzellen deuten zwar an, dass Gamma-Strahlung durch Induktion von DNA-Doppelstrangbrüchen zu einer erhöhten Anzahl an Mikrohomologie-vermittelten Deletionen führen kann, jedoch ist die Strahlenbehandlung der Mäuse in dieser Studie einmalig und kurz und der Organismus komplexer. In sporadischen humanen *ETV6-RUNX1*+ B-ALL ist die Zahl der detektierten Indels mit weniger als einem Indel pro Patient ebenfalls sehr gering.

Tabelle 2: Somatische SNV in Krebs-assoziierten Genen des "Cancer Gene Census" (CGC), die in den strahleninduzierten Tumoren (Nr. 1-6) von somatischen SNV betroffen waren.

Nr.	Bestrahlungsdosis (Gy)	Tumorgehalt (%)	SNV/schädliche SNV	CGC-Gene mit SNV	Aminosäureaustausch	Signalweg
1	0,5	44	13/2	-	-	-
2	0,5	79	192/86	Atm	p.Val1535Glu	Serin/Threonin-Kinase, DNA-Reparatur
				Csmd3	p.Pro3046His	nicht bekannt
				Nsd3	p.Gly729Val	Histonmethylierung, Genexpression
				Ret	p.Asp303Tyr	Tyrosinkinase
				Sh2b3	p.Gln210Lys	Jak-Stat, Zytokin, Hämatopoese
3	2	40	42/15	Jak1	p.Arg723His	Jak-Stat
				Jak3	p.Arg653His	Jak-Stat
				Ptpn11	p.Ser506Leu	Ras-MapK
4	2	60	10/4	Ptpkr	p.Ser496Tyr	Tyrosin-Phosphatase
5	2	85	19/8	-	-	-
6	2	38	78/38	Kras	p.Gly13Asp	Ras-MapK
				Sh2b3	p.Phe403Val	Jak-Stat, Zytokin, Hämatopoese
				Wt1	p.Glu143Asp	Transkription

5.2.2 Mutationssignaturen

Mutationssignaturen sind charakteristische Kombinationen von Mutationstypen, die durch spezifische mutagene Einflüsse, wie z. B. Bestrahlung, entstehen können und Aufschluss über die beteiligten zellulären Prozesse (z. B. DNA-Reparaturwege) geben können. Bei der Analyse der Mutationssignaturen der strahleninduzierten Tumore in dieser Studie zeigte sich eine allgemeine Prävalenz von Übergängen zwischen Pyrimidinen (C>T, T>C) (Abbildung 4A). Der erhöhte Beitrag von C>A-Übergängen ist im Wesentlichen in den hypermutierten Tumoren 2 und 6 zu beobachten. Auf Grund der geringen Zahl an strahleninduzierten Tumoren, deren unterschiedliche und durchschnittlich relativ geringe Anzahl an somatischen SNV, die mittels der Ganz-Exom-Sequenzierung festgestellt werden konnten, konnten bisher keine spezifischen Signaturen für die strahleninduzierten *Sca1-ETV6-RUNX1*-Leukämien identifiziert werden (Abbildung 4B). Die strahleninduzierten Tumore bildeten kein von anderen Tumoren getrenntes Cluster in der Analyse. Die COSMIC-Signaturen SBS42 ($p=0,027$; Abbildung 4C), SBS45 ($p=0,022$), SBS49 ($p=0,004$) und SBS52 ($p=0,011$) waren signifikant erhöht in strahleninduzierten *Sca1-ETV6-RUNX1*-Leukämien im Vergleich zu 16 nicht bestrahlten *Sca1-ETV6-RUNX1*-Kontroll-Leukämien ($p<0,05$, t-Test), allerdings nicht nach Bonferroni-Korrektur. Die Signatur SBS42 wurde bei Expositionen gegenüber organischen Lösungsmitteln, insbesondere Halogenalkanen, identifiziert. Die Signaturen SBS45, SBS49 und SBS52 könnten auf Artefakte, bedingt durch den Sequenzierungsprozess, zurückzuführen sein. Eine Analyse von Ganz-Genom-Daten würde hier auf Grund der größeren Zahl an auswertbaren SNV wahrscheinlich deutlichere Signale liefern als eine Analyse von Ganz-Exom-Daten, die nur einen kleineren Bruchteil (2-3 %) des Gesamtgenoms abbilden.

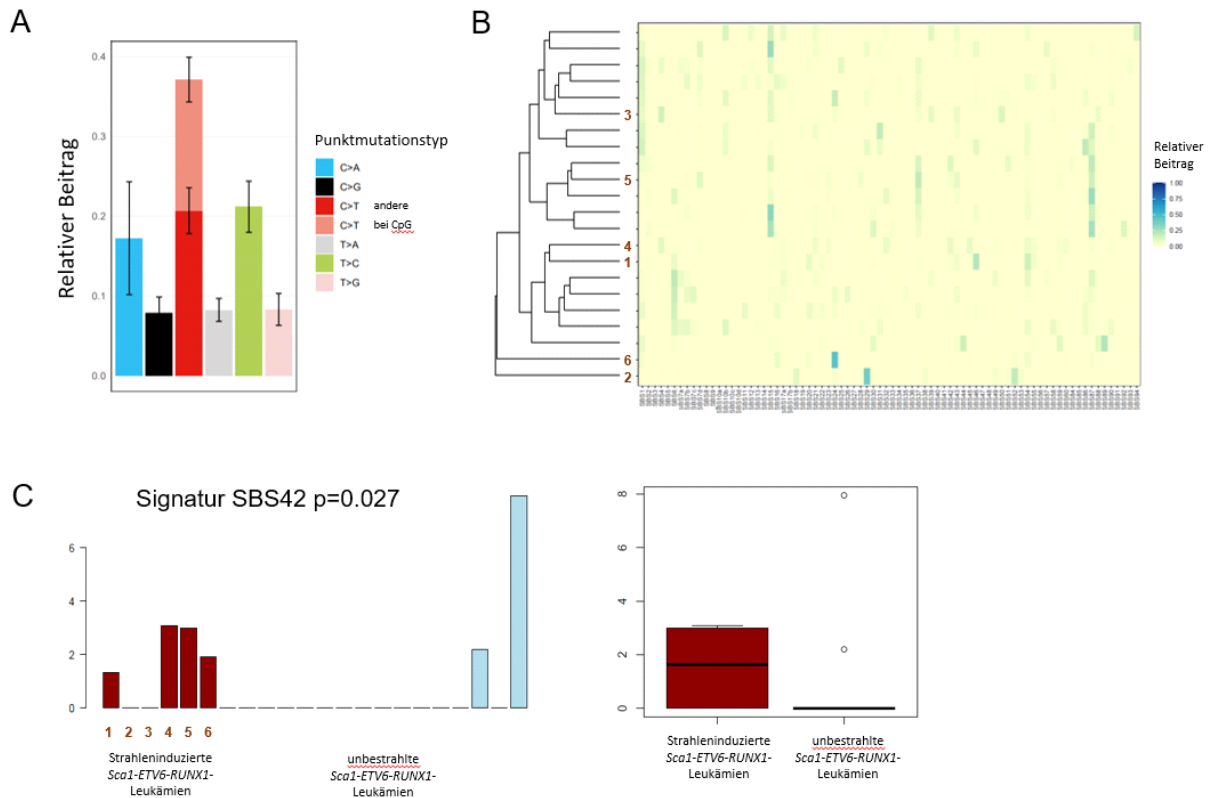


Abbildung 4: Analyse der strahleninduzierten Mutationssignaturen in *Sca1-ETV6-RUNX1*-Leukämien. A: Mutationsspektrum (Häufigkeit der einzelnen Basenpaaraustausche) der identifizierten somatischen SNV nach der Filterung. B: Spektrumszerlegung mit COSMIC-Signaturen als Grundlage. Die Heatmap zeigt den relativen Beitrag der einzelnen Mutationssignaturen, basierend auf den beschriebenen COSMIC-Signaturen, zum Mutationsspektrum der sechs strahleninduzierten (mit 1-6 gekennzeichnet) und der 16 nicht-strahleninduzierten *Sca1-ETV6-RUNX1*-pB-ALL Kontrollproben. Die Fälle wurden auf Grund ihrer Mutationssignatur geclustert. Die Skala reicht von gelb (Signatur nicht detektiert) bis dunkelblau (Signatur hat einen hohen Beitrag am Mutationsspektrum). Die Heatmap zeigt, dass die strahleninduzierten Leukämien sich mit den Kontrollen vermischen und kein separates Cluster bilden. Eine spezifische strahleninduzierte Mutationssignatur ist nicht identifizierbar. C: Die COSMIC-Signatur SBS42 zeigt den höchsten relativen Gesamtbeitrag. Der Barplot zeigt die absolute Anzahl der SNV die zur COSMIC Signatur SBS42 in den einzelnen Fällen beitragen. Der Boxplot stellt die zwei Gruppen (strahleninduzierte Leukämien vs. Kontrollen) dar.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Für den Strahlenschutz ist es notwendig zu untersuchen, ob Personen mit genetischer Prädisposition einem besonderen Risiko gegenüber ionisierender Strahlung ausgesetzt sind. Bei Kindern, die eine Leukämie entwickeln, ist bekannt, dass oft eine genetische Prädisposition vorliegt und wahrscheinlich nur eine weitere genetische Mutation zur Krankheitsentwicklung ausreicht. Eine der häufigsten genetischen Prädispositionen bei Kindern ist die Translokation ETV6-RUNX1, die bereits im Mutterleib entsteht. Mit einem Mausmodell, das diese genetische Veränderung trägt und deren Auswirkung dem Menschen sehr ähnlich ist, konnte nun die Wirkung von ionisierender Strahlung im mittleren (0,5 Gy und 2 Gy) und niedrigen Dosisbereich (0,05 Gy) untersucht werden. Im mittleren Dosisbereich entwickelten etwa 10 % von 30 Tieren eine Leukämie. Dies bedeutet, dass nur einige Träger dieser Prädisposition nach Exposition mit mittleren Dosen ionisierender Strahlung eine Leukämie entwickeln. Die auftretende zweite genetische Veränderung fand in für die Tumorzellen typischen Signalwegen statt. In einer Gruppe von 30 Mäusen konnte im Niedrigdosisbereich (0,05 Gy) keine Leukämie ausgelöst werden. Aussagen zum Strahlenrisiko in diesem Bereich können erst nach weiteren Untersuchungen gemacht werden.

Thema

Bestimmung der Frequenz präleukämischer Translokationen in Nabelschnurblut

Subject*Determination of the frequency of preleukemic translocations in umbilical cord blood***Kennzeichen**

3618S32275

Beginn

07.11.2018

Ende

30.09.2021

Fördermittel

EUR 307.403,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Universitätsklinikum Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf

ProjektleitungProf. Dr. A. Borkhardt,
Dr. U. Fischer, Dr. D. Hein**Fachbetreuung BfS**

Dr. S. Hornhardt / WR 1

verantwortlich für den TextProf. 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 100x häufiger bei Neugeborenen auftreten, als tatsächlich Kinder an *ETV6-RUNX1*-positiver Leukämie erkranken. Nachfolgende Studien ergaben jedoch widersprüchliche Ergebnisse. In einem Pilotprojekt des BMUV/BfS wurde deshalb von Prof. Robert Slany (Institut für Genetik, Universität Erlangen-Nürnberg) und der Projektleitung die auf stabiler DNA basierte GIPFEL-Methode zum Nachweis präleukämischer Translokationen entwickelt. Die GIPFEL-Methode weist Genfusionen ohne vorherige Kenntnis des Bruchpunkts mit hoher Sensitivität (10^{-4} , d. h. eine positive Zelle unter 10 000 negativen wird noch detektiert) und Spezifität nach. In einem weiteren BMUV/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, sollten in diesem Projekt weitere 1 000 Nabelschnurblutproben von gesunden Neugeborenen mit der GIPFEL-Technik untersucht werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK SOWIE DARSTELLUNG DER VORGEHENSWEISE

In einem ersten Bearbeitungsschritt sollten der vorliegende Stand von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens aufgearbeitet, die relevanten bisherigen Arbeiten zusammengefasst und maßgebliche Unterlagen und Veröffentlichungen identifiziert werden.

2.2 SCREENING VON 1 000 NABELSCHNURBLUTBANKPROBEN

In dieser konfirmatorischen Studie sollten 1 000 weitere Nabelschnurblutproben von gesunden Neugeborenen mit der GIPFEL-Technik untersucht werden, um die Präsenz von *ETV6-RUNX1*-positiven präleukämischen Zellen in gesunden Neugeborenen zu prüfen und das Ergebnis der vorangegangenen Studie zu validieren. Ein Abgleich der Screening-Ergebnisse mit tatsächlichen Leukämie-Erkrankungen erfolgte in Eigenleistung, um die allgemeine Leukämierate Neugeborener in dem untersuchten Zeitraum und der bestimmten Population zu bestimmen. Die Ergebnisse sollten es ermöglichen, die Penetranz und das Leukämie induzierende Potenzial des chimären Transkriptionsfaktors *ETV6-RUNX1* bei menschlichen Neugeborenen zu bewerten und sollten eine Grundlage für die Beurteilung des Einflusses

ses sekundärer umweltbedingter oder spontan auftretender kooperierender onkogener Läsionen bei der *ETV6-RUNX1*-positiven Kinderleukämie bilden.

2.3 CHARAKTERISIERUNG DER BRUCHPUNKTE *ETV6-RUNX1*-POSITIVER PROBEN

Die *ETV6-RUNX1*-positiv getesteten Proben sollten durch Sequenzierung näher charakterisiert werden. Es sollte 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 und mittels der durch die GIPFEL-Technik identifizierten Bruchpunktregionen 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

Asservierte Nabelschnurblutproben von gesunden Neugeborenen wurden mit Hilfe der etablierten "Standard Operation Procedure (SOP)", der GIPFEL-Methode (Schäfer *et al.*, Blood 2018; 131: 821-826), auf die Präsenz von *ETV6-RUNX1*-positiven präleukämischen Zellen untersucht. Zusätzlich wurde die Frequenz der *ETV6-RUNX1*-positiven Zellen im Nabelschnurblut der positiven Neugeborenen bestimmt. Vom Projektpartner, der José-Carrera-Nabelschnurblutbank an der Universitätsklinik der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, wurden für diese Untersuchungen 1 405 Nabelschnurblutproben von Neugeborenen, die im Jahr 2004 in Nordrhein-Westfalen in Deutschland geboren wurden für die Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Eine mögliche Erkrankung des Neugeborenen an einer Leukämie wurde durch telefonische Abfrage überprüft. Die Spender, d. h. die herangewachsenen Kinder waren zum Zeitpunkt der Studie bereits 16 Jahre alt und hatten den kritischen Alterspeak zwischen 2 und 5 Jahren, in dem *ETV6-RUNX1*-positive B-Zell Leukämien i.d.R. auftreten, bereits überschritten.

4.3 CHARAKTERISIERUNG DER BRUCHPUNKTE *ETV6-RUNX1*-POSITIVER PROBEN

Die *ETV6-RUNX1*-positiv getesteten Proben wurden durch Sequenzierung näher charakterisiert. Die Sequenzierung erfolgte durch Amplifikation des translokationstragenden DNA-Zirkels aus der GIPFEL-Analyse und anschließender Sanger-Sequenzierung. Der DNA-Zirkel wurde dabei ähnlich wie bei einer Ganz-Genom-Amplifizierung, allerdings mit Primern, die spezifisch für die *ETV6-RUNX1*-Region sind, unter Verwendung einer Ultra-Long-Range-Polymerase vermehrt. Der amplifizierte DNA-Zirkel wurde dann per *Primerwalk* sequenziert bis der Bruchpunkt gefunden wurde. Die mittels Sequenzierung identifizierten und charakterisierten Bruchpunkte wurden im Anschluss mit aus der Literatur bekannten, leukämiespezifischen *ETV6-RUNX1*-Bruchpunkten verglichen. Es wurde untersucht, ob es Unterschiede oder Gemeinsamkeiten in den Sequenzen der Bruchpunkte von Leukämiepatient*innen verschiedenen Alters und gesunden Proband*innen gibt. Für diese Untersuchungen wurden auch die durch die GIPFEL-Analyse identifizierten Bruchpunktregionen genutzt.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK SOWIE DARSTELLUNG DER VORGEHENSWEISE

Die Ergebnisse der Literaturrecherche wurden in einem Bericht zusammengefasst. Sie ergaben, dass die Häufigkeit, mit der *ETV6-RUNX1*-positive, präleukämische Zellen bei menschlichen Neugeborenen auftreten, noch unklar ist und dass die unterschiedlichen Ergebnisse in den unternommenen Studien größtenteils auf technische Schwierigkeiten und die Verwendung der - im Vergleich zu DNA - instabilen RNA als Ausgangsmaterial zurückzuführen sind. Falsch-negative Ergebnisse können nicht nur durch eine Degradation der RNA im Probenmaterial, sondern auch durch abgeschaltete oder sehr geringe RNA-Expression des Fusionsgens in nur wenigen positiven Zellen unter einer Mehrzahl negativer Zellen bedingt sein. Falsch-positive Ergebnisse können durch Kontaminationen verursacht werden und können - anders als auf DNA -Ebene- nicht kontrolliert werden. Auch die Frequenz mit der *ETV6-RUNX1*-positive Zellen bei gesunden Neugeborenen auftreten, also die Größe des expandierten Zellklons, ist bisher umstritten. In einem ersten Screen von 1 000 Neugeborenen mit Hilfe der DNA-basierten GIPFEL-Methode gelang es erstmalig auf DNA-Ebene die sehr hohe Inzidenz von gesunden *ETV6-RUNX1*-Trägern nachzuweisen (5 %), von denen im weiteren Leben maximal 0,2 % tatsächlich an einer Leukämie erkranken. Die Klonggröße lag in einem Bereich von ca. 10^{-2} bis 10^{-5} in angereicherten CD19-positiven B-Zellen. Diese Ergebnisse sollten in den folgenden Arbeitspaketen in einer weiteren Kohorte von mindestens 1 000 Nabelschnurblutproben von gesunden Neugeborenen mit der GIPFEL-Technik validiert werden.

5.2 SCREENING VON 1 000 NABELSCHNURBLUTBANKPROBEN

Von 1 405 mittels der GIPFEL-Technik untersuchten Nabelschnurblutproben waren 103 (7,3 %) *ETV6-RUNX1*-positiv und konnten mittels Sanger-Sequenzierung validiert werden. Dies entspricht einer Inzidenz von ~7,3 % bei den untersuchten gesunden Neugeborenen (Tabelle 1).

Tabelle 1: 103 von 1 405 (7,3 %) untersuchten Nabelschnurblutproben waren *ETV6-RUNX1*-positiv.

Probennummer	Multiplex-Primer-Gruppe	<i>ETV6</i> -Primer	<i>ETV6</i> -Intron	<i>RUNX1</i> -Primer	<i>RUNX1</i> -Intron	Geschätzte Frequenz	ALL?
1014	blau	3	5/6	15	1	9.6×10^{-5}	gesund
1023	blau	2	5	17	1	7.1×10^{-5}	gesund
1035	gelb	3	5/6	13	1	6.0×10^{-5}	gesund
1041	blau	1	5	15	1	2.7×10^{-5}	k. A.
	rot	2	5	11	1	7.4×10^{-5}	
1055	gelb	1	5	13	1	5.8×10^{-4}	gesund
1076	blau	1	5	22	1	2.3×10^{-4}	gesund
1098	gelb	1	5	25	1	2.3×10^{-4}	gesund
1105	rot	2	5	24	1	6.3×10^{-5}	gesund
1133	rot	3	5/6	14	1	2.8×10^{-4}	gesund
1136	gelb	1	5	13	1	8.8×10^{-5}	gesund
1142	gelb	1	5	21	1	2.6×10^{-5}	gesund
1146	blau	3	5/6	22	1	6.6×10^{-5}	gesund
	rot	3	5/6	11	1	2.1×10^{-5}	
1157	grün	2	5	20	1	2.2×10^{-4}	gesund

Probennummer	Multiplex-Primer-Gruppe	ETV6-Primer	ETV6-Intro n	RUNX1-Primer	RUNX1-Intron	Geschätzte Frequenz	ALL?
1176	rot	3	5/6	4	1	7.7×10^{-4}	gesund
1185	blau	2	5	23	1	1.2×10^{-3}	gesund
1188	rot	3	5/6	11	1	5.7×10^{-4}	gesund
1191	rot	3	5/6	11	1	6.7×10^{-4}	gesund
1198	blau	3	5/6	23	1	2.8×10^{-4}	k. A.
1234	rot	3	5/6	4	1	2.6×10^{-4}	k. A.
1238	gelb	3	5/6	25	1	4.6×10^{-3}	gesund*
1253	blau	1	5	17	1	1.5×10^{-3}	gesund
1270	rot	2	5	11	1	2.3×10^{-4}	k. A.
1281	grün	2	5	20	1	6.1×10^{-4}	gesund
1284	gelb	1	5	25	1	7.5×10^{-5}	k. A.
1293	rot	2	5	14	1	2.4×10^{-4}	gesund
1301	blau	2	5	22	1	1.2×10^{-4}	gesund
1312	blau	3	5/6	17	1	1.0×10^{-4}	gesund
1336	rot	3	5/6	14	1	7.1×10^{-5}	gesund
1341	rot	3	5/6	14	1	7.1×10^{-5}	gesund
1355	gelb	1	5	25	1	5.6×10^{-5}	gesund
1369	rot	3	5/6	11	1	3.7×10^{-4}	gesund
1402	gelb	1	5	25	1	4.8×10^{-4}	gesund
1429	gelb	1	5	13	1	1.4×10^{-4}	gesund
1430	rot	2	5	11	1	1.6×10^{-4}	gesund
1465	gelb	3	5/6	13	1	2.1×10^{-4}	k. A.
1467	rot	3	5/6	1	2	5.1×10^{-4}	gesund
1468	rot	3	5/6	14	1	4.0×10^{-4}	k. A.
1473	rot	2	5	11	1	5.7×10^{-4}	k. A.
1494	rot	2	5	4	1	1.5×10^{-3}	gesund
1501	gelb	2	5	13	1	1.5×10^{-3}	gesund
1510	blau	3	5/6	17	1	2.1×10^{-3}	gesund
1518	blau	3	5/6	23	1	4.7×10^{-3}	gesund
1542	blau	2	5	12	1	9.3×10^{-3}	k. A.
1553	grün	1	5	29	1	7.6×10^{-3}	gesund
1559	rot	1	5	10	1	7.7×10^{-3}	gesund
1609	gelb	2	5	25	1	5.4×10^{-4}	gesund
1617	rot	3	5/6	14	1	8.6×10^{-4}	k. A.
1618	blau	3	5/6	17	1	5.5×10^{-3}	gesund
1623	rot	3	5/6	14	1	1.5×10^{-3}	gesund
1632	rot	3	5/6	11	1	3.3×10^{-4}	k. A.

Probennummer	Multiplex-Primer-Gruppe	ETV6-Primer	ETV6-Intro n	RUNX1-Primer	RUNX1-Intron	Geschätzte Frequenz	ALL?
1642	blau	3	5/6	22	1	1.5×10^{-3}	gesund
1646	rot	3	5/6	14	1	9.0×10^{-4}	gesund
1678	rot	2	5	4	1	2.8×10^{-3}	gesund
1680	rot	2	5	4	1	4.6×10^{-3}	gesund
1692	blau	2	5	12	1	1.5×10^{-2}	gesund
1694	blau	3	5/6	17	1	2.4×10^{-2}	gesund
1695	blau	2	5	23	1	3.6×10^{-2}	gesund
1699	blau	3	5/6	17	1	6.8×10^{-3}	k. A.
1735	rot	3	5/6	14	1	4.2×10^{-4}	gesund
1743	gelb	2	5	25	1	1.4×10^{-4}	gesund
1744	grün	2	5	18	1	4.8×10^{-4}	gesund
	gelb	3	5/6	25	1	7.0×10^{-5}	
1745	rot	3	5/6	11	1	1.2×10^{-4}	gesund
1746	rot	2	5	24	1	3.1×10^{-3}	k. A.
1748	gelb	1	5	21	1	7.5×10^{-4}	gesund
1752	rot	2	5	14	1	2.6×10^{-4}	gesund
1757	gelb	2	5	25	1	6.5×10^{-4}	k. A.
1780	blau	2	5	23	1	2.3×10^{-3}	gesund
1828	blau	2	5	23	1	5.5×10^{-3}	k. A.
1838	grün	3	5/6	18	1	4.5×10^{-4}	gesund
1842	blau	3	5/6	17	1	3.1×10^{-3}	gesund
1897	rot	3	5/6	14	1	3.6×10^{-3}	k. A.
1910	blau	3	5/6	23	1	1.3×10^{-3}	gesund
1912	rot	3	5/6	24	1	1.4×10^{-3}	gesund
1929	gelb	3	5/6	25	1	1.6×10^{-3}	k. A.
1963	blau	3	5/6	15	1	5.9×10^{-4}	gesund
1993	gelb	2	5	13	1	6.2×10^{-4}	gesund
2039	gelb	3	5/6	5	1	3.9×10^{-4}	k. A.
2047	blau	3	5/6	17	1	2.8×10^{-3}	k. A.
2074	blau	3	5/6	17	1	4.5×10^{-3}	gesund
2090	blau	2	5	23	1	4.4×10^{-3}	gesund
2091	blau	2	5	17	1	7.2×10^{-3}	k. A.
2104	rot	3	5/6	24	1	1.8×10^{-3}	gesund
2117	rot	2	5	11	1	3.7×10^{-3}	gesund
2154	blau	2	5	26	1	1.7×10^{-3}	k. A.
2156	rot	2	5	24	1	2.9×10^{-4}	gesund
2167	rot	3	5/6	24	1	1.4×10^{-3}	gesund

Probennummer	Multiplex-Primer-Gruppe	ETV6-Primer	ETV6-Intro n	RUNX1-Primer	RUNX1-Intron	Geschätzte Frequenz	ALL?
2169	rot	3	5/6	11	1	3.1×10^{-3}	gesund
2171	blau	2	5	22	1	9.8×10^{-2}	k. A.
2174	rot	3	5/6	4	1	4.4×10^{-3}	gesund
2178	rot	1	5	4	1	2.4×10^{-4}	gesund
2218	blau	3	5/6	26	1	2.2×10^{-4}	gesund
2236	blau	3	5/6	12	1	8.3×10^{-3}	k. A.
2247	rot	3	5/6	11	1	9.9×10^{-3}	gesund
2274	blau	2	5	23	1	2.1×10^{-3}	gesund
2291	gelb	3	5/6	25	1	2.8×10^{-3}	gesund
2300	gelb	3	5/6	25	1	3.8×10^{-3}	gesund
2316	blau	2	5	23	1	2.1×10^{-3}	k. A.
2322	gelb	3	5/6	25	1	6.9×10^{-4}	gesund
	blau	1	5	23	1	3.5×10^{-3}	
2346	blau	3	5/6	22	1	3.3×10^{-3}	gesund
2379	blau	3	5/6	28	1	6.1×10^{-3}	k. A.
2402	blau	3	5/6	17	1	9.0×10^{-4}	k. A.
2406	grün	3	5/6	8	1	1.8×10^{-3}	k. A.
2407	blau	3	5/6	17	1	3.5×10^{-3}	k. A.

In Tabelle 1 sind die Nummer der positiv getesteten Proben gesunder Neugeborener, die Multiplex-Primergruppen der ersten Real-Time PCR, die spezifischen Primer für das die Translokation tragende DNA-Fragment, die jeweiligen Introns der Gene *ETV6* bzw. *RUNX1*, in denen die Bruchpunkte liegen, die ermittelte Frequenz der präleukämischen Zellen in der Probe sowie der Gesundheitszustand des Kindes seit Probennahme bis zum Alter von 16 bis 17 Jahren angegeben (k. A. keine Angaben; gesund*, Kind erkrankt an Mukoviszidose, aber nicht an ALL).

Die Frequenz *ETV6-RUNX*-positiver Neugeborener (7,3 %) ist in dieser Kohorte etwas höher als im vorangegangenen Screen (5 %, n=1 000). Dies beruht wahrscheinlich in erster Linie auf der höheren Qualität der unter *Good Manufacturing Practice* (GMP)-Standards asservierten Proben aus der Düsseldorfer José-Carreras-Nabelschnurblutbank, verglichen mit den in der früheren Untersuchung verwendeten Proben aus einer klinischen Forschungsstudie, die vom Rigshospitalet (Kopenhagen, Dänemark) zur Verfügung gestellt worden waren.

Die *ETV6-RUNX1*-positiven Zellen traten in der aktuellen und der vorherigen Studie mit einer Frequenz von ≈ 1 pro 100 bis 1 pro 100 000 negativer Zellen auf (10^{-2} bis 10^{-5}). Wie im vorherigen Screen wurden auch in der aktuellen Studie Proben (n=4) identifiziert, in denen gleichzeitig zwei Klone mit verschiedenen *ETV6-RUNX1*-Bruchpunkten nachgewiesen werden konnten. Die Frequenzen, mit denen diese Bruchpunkte nachgewiesen wurden, sowie die verantwortlichen Primer, sprechen in allen Fällen für das gleichzeitige Vorliegen zweier verschiedener Klone aus zwei separaten, mutagenen Ereignissen (Proben-Nr. 1041, 1146, 1744, 2322).

Auf Basis der bisher erhaltenen Daten kann die tatsächliche Inzidenz *ETV6-RUNX1*-positiver präleukämischer Zellen in gesunden Neugeborenen auf >5 bis 7,3 % geschätzt werden. Da die GIPFEL-Methode im Wesentlichen durch die Menge der die Translokation-tragenden DNA limitiert ist (Sensitivitätsgrenze 10^{-4}), könnte die Inzidenz von *ETV6-RUNX1*-Translokationen tatsächlich noch höher sein, da niederfrequenterere Ereignisse (z. B. einzelne positive Zellen) nicht detektiert werden können. Allerdings geht man davon aus, dass für die Akkumulation sekundärer onkogener Ereignisse, die klonale Selektion und

die spätere Entwicklung einer Leukämie expandierte Zellklone, wie sie die GIPFEL-Technik nachweist, die Voraussetzung sind.

Um den Gesundheitszustand bzw. die Gesundheitshistorie der mittlerweile 16-17-jährigen, GIPFEL-positiven Spender abzufragen, wurden sie erneut kontaktiert. Durch die vergleichsweise lange Zeitspanne zwischen Nabelschnurblutspende und Kontaktaufnahme, konnten auch mit Hilfe der Melderegister nicht mehr alle Spender bzw. deren Sorgeberechtigten erreicht werden. Von 103 *ETV6-RUNX1*-positiven Fällen haben 75 (73,5 %) geantwortet. Von diesen hatte keiner eine ALL entwickelt. Auf Grund des jetzigen Alters der Spender kann davon ausgegangen werden, dass sie auch in der Zukunft keine *ETV6-RUNX1*-positive Leukämie entwickeln werden, da das Hauptinzidenzalter dieser Erkrankung zwischen 2 bis 5 Jahren liegt und die Spender schon weitaus älter sind. Bei Jugendlichen und Erwachsenen ist die *ETV6-RUNX1*-positive Leukämie sehr selten.

In der untersuchten Population (wohnhaft in Deutschland zum Diagnosezeitpunkt) betrug die allgemeine Malignomrate ~ 15 , bezogen auf 100 000 Kinder unter 15 Jahren (alterstandardisiert, Segi Welt-Standardpopulation, Quelle: Robert Koch Institut, Daten des Deutschen Kinderkrebsregisters (DKKR)). Das kumulative Risiko eines neugeborenen Kindes, innerhalb der ersten 15 Lebensjahre ein Malignom zu entwickeln, beträgt 225 auf 100 000 (0,2 %). Etwa 1 von 500 Kindern wird eine bösartige Krebserkrankung entwickeln. Häufigste Einzeldiagnose ist die akute lymphatische Leukämie (~ 30 %).

Die Inzidenz der akuten lymphatischen Leukämie in dem untersuchten Zeitraum (Diagnose im Jahr 2006) beträgt $\sim 4,3$ auf 100 000 Kinder, die der *ETV6-RUNX1*-positiven lymphatischen Leukämie ~ 1 auf 100 000 (Quelle: Robert Koch Institut). D. h. das kumulative Risiko, dass Kinder bis zu einem Alter von 6 Jahren (nach dem Alterspeak der *ETV6-RUNX1*-positiven akuten lymphatischen Leukämie von 2 bis 5 Jahren) eine solche Leukämie entwickeln, beträgt 6 auf 100 000 (0,006 %).

Die durchgeführte Studie bestätigt, eine hohe Inzidenz von *ETV6-RUNX1* Translokationen bei Neugeborenen ($\sim 5-7,3$ %) und damit eine hohe Zahl an prädisponierten Kindern in der Bevölkerung. Die Inzidenz übersteigt die der entsprechenden Leukämie ($\sim 0,006$ %) deutlich. Die Translokationen führen also nur in seltenen Fällen zu einer Leukämie. Die Penetranz und das Leukämie induzierende Potenzial des chimeren Transkriptionsfaktors *ETV6-RUNX1* allein ist daher bei menschlichen Neugeborenen als gering zu bewerten. Daher kommt dem Einfluss sekundärer umweltbedingter oder spontan auftretender, kooperierender, onkogener Läsionen eine besondere Bedeutung bei der Entstehung der *ETV6-RUNX1*-positiven Kinderleukämie zu.

5.3 CHARAKTERISIERUNG DER BRUCHPUNKTE *ETV6-RUNX1*-POSITIVER PROBEN

Zur weiteren Validierung der Ergebnisse wurden *ETV6-RUNX1*-positiv getestete Proben durch Sequenzierung der Bruchpunkte näher charakterisiert. Die Bruchpunkte von fünf gesunden Neugeborenen konnten auf Nukleotidebene identifiziert werden. Die sequenzierten Bruchpunkte wurden mit aus der Literatur bekannten Bruchpunkten verglichen. Bei den gesunden Proband*innen waren ebenso wie bei an Leukämie erkrankten nur wenige bis keine Nukleotidinsertionen an den Bruchpunkten zu finden und es wurden keine Rekombinationssignale in der Nähe der Bruchpunkte identifiziert.

Die Kenntnis des genauen Bruchpunktes wurde für einen weiteren Validierungsschritt genutzt. Hierzu wurden nested Primer konzipiert, die ein Fragment über den Bruchpunkt amplifizieren. Ein zweites Aliquot der Nabelschnurblutprobe desselben Kindes wurde aufgetaut, DNA daraus isoliert und die nested-PCR mit anschließender Sanger-Sequenzierung des PCR-Produktes durchgeführt. In allen fünf Nabelschnurblutproben, für die die Bruchpunktsequenz bekannt war, konnte mittels dieser zweiten, unabhängigen PCR der Bruchpunkt in einer zweiten Probe validiert werden.

Zum Vergleich der Verteilung der Bruchpunkte von Gesunden und an Leukämie erkrankten Proband*innen wurden außerdem die GIPFEL-Ergebnisse genutzt, die eine Zuordnung eines positiven Ergebnisses zu bestimmten Regionen der Bruchpunkt-Cluster-Region (BCR) erlauben. Die Kenntnis der für die Amplifikation des positiven Produktes verwendeten Primer ermöglicht es, den Bereich der DNA, in dem die Fusion stattgefunden hat, stark einzugrenzen. Daher lassen sich auch statistische Aussagen zur Verteilung der Bruchpunkte in bestimmten Regionen machen. Dazu wurden das *ETV6*-BCR in zwei Teile (Benutzung der Primer 1 und 2 bzw. des Primers 3) und das *RUNX1*-BCR in vier Bereiche (Primer 1-6, 7-15, 16-22, 23-29) geteilt, woraus sich acht verschiedene Bereiche ergaben (Abbildung 1). Bei Leukämien liegen die Bruchpunkte statistisch am häufigsten am 3'-Ende beider BCRs ($P < 0,0001$) (Abbil-

dung 1A). In drei der vier Cluster am 5'-Ende von *RUNX1* kommen sie dagegen deutlich seltener vor ($P < 0,0001$, $P = 0,0483$, $P = 0,0107$). Diese Häufung an den 3'-Enden findet sich hauptsächlich in der Altersgruppe der 2- bis 5-Jährigen. Im Vergleich dazu kommt es bei den gesunden Kindern eher zu einer Häufung von Bruchpunkten im 5'-Bereich des *ETV6*-Clusters und dem Bereich 3' der Mitte des *RUNX1*-Clusters ($P = 0,0362$) (Abbildung 1B-D). 5' der Mitte von *RUNX1* und 3' des *ETV6*-Clusters kommt es hingegen zu signifikant weniger Brüchen ($P < 0,0001$). *ETV6*-*RUNX1*-positive Leukämien treten signifikant häufiger in Jungen als in Mädchen auf ($P = 0,0091$). Bei Neugeborenen konnte dazu auf Grund des Datenschutzes noch keine Aussage getroffen werden. Deutlich wird, dass weitere Untersuchungen in größeren Kohorten nötig sind, um Bruchpunkte in Neugeborenen eingehend zu charakterisieren. Solche Studien könnten Rückschlüsse zu den molekularen Ursachen der Translokation und verantwortlichen Noxen ermöglichen. Eine Assoziation bestimmter *ETV6*-*RUNX1*-Translokationen mit häufigerer ALL-Entstehung könnte ggf. eine individuelle frühe Risikobewertung ermöglichen.

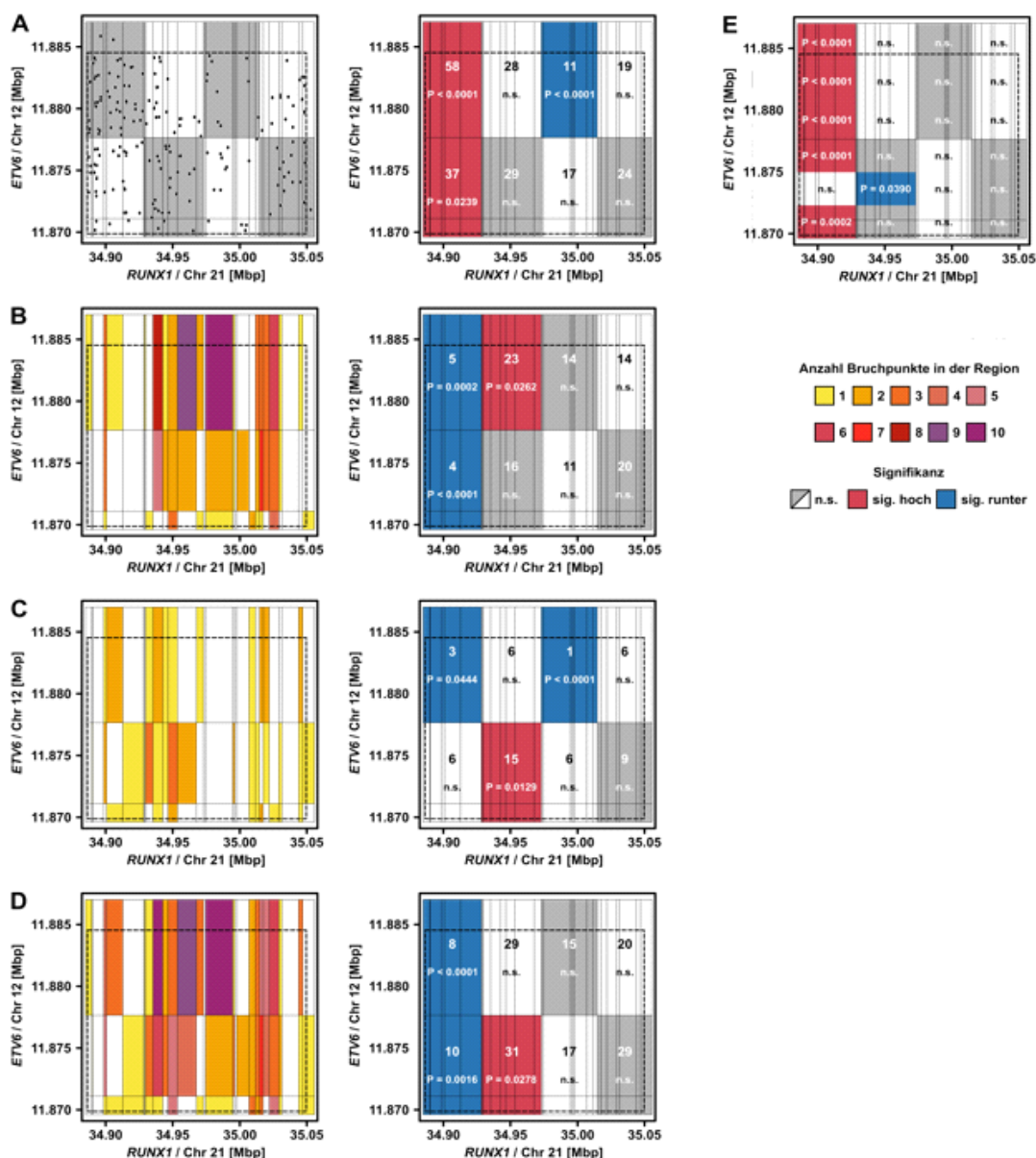


Abbildung 1: Verteilung der identifizierten Bruchpunkte und deren statistische Häufung.

Dargestellt sind die BCRs von *ETV6* (Y-Achse) und *RUNX1* (X-Achse). Vertikale und horizontale Linien teilen die von verschiedenen GIPFEL-Primern abgedeckten Regionen, die größeren Felder wurden zur statistischen Auswertung genutzt. (A) Veröffentlichte Bruchpunkte von ALL-Patienten. Links: Schwarze

Punkte zeigen Bruchpunkte. Rechts: Statistische Häufungen der Bruchpunkte sind rot dargestellt, geringeres Vorkommen blau. Absolute Zahlen der Bruchpunkte sowie p-Werte sind angegeben. (B) Bruchpunktbereiche in der aktuell untersuchten Kohorte ("ITZ", n = 1405). Links: Die Bruchpunkte sind anhand der benutzten Primer bestimmten BCR-Bereichen zugeordnet. Rechts: Statistische Häufungen sind rot dargestellt, geringeres Vorkommen blau. (C) Wie (B), für die früher analysierte dänische Kohorte ("DK", n = 1000). (D) Wie in (B), (C), beide Kohorten kombiniert (ITZ und DK, n = 2405). (E) Statistischer Vergleich zwischen ALL- und Nabelschnurblut-Bruchpunkten (drei Signifikanzen sind angegeben, oben: Vergleich ALL vs. ITZ-Kohorte, Mitte: ALL vs. DK-Kohorte, unten: ALL vs. ITZ+DK-Kohorte). Rot: Häufung von Bruchpunkten in ALL, Blau: Häufung im Nabelschnurblut. (A)-(D): Einzelproben-t-Tests; (E): One-way ANOVA gefolgt von Dunnetts Test.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Eine wichtige Rolle bei der Leukämie bei Kindern spielen vererbte oder sehr früh erworbene Veränderungen des Erbguts, die an sich zu keiner Erkrankung führen. Dazu gehören immer wieder beobachtete Chromosomenaustausche - sogenannte Translokationen - die bereits im Mutterleib entstehen. Eine der häufigsten ist die Translokation *ETV6-RUNX1*, bei der zwei Gene miteinander verschmolzen wurden. Diese Translokation wurde bei 20 % der akuten lymphatischen B-Zell-Leukämien bei Kindern festgestellt. Über die natürliche Häufigkeit dieser Veränderung lagen nach Untersuchungen von Nabelschnurblut widersprüchliche Ergebnisse vor: (I) die Häufigkeit entspricht der Häufigkeit der Leukämiefälle bei Kindern (~1/10 000), d. h. die Translokation führt unausweichlich zur Krankheit oder (II) die Translokation tritt viel häufiger auf als die Krankheitsfälle und führt durch individuelle Faktoren wie Lebensstil und Umweltfaktoren zur Erkrankung, d. h. es gibt Risikofaktoren und möglicherweise eine Prävention. Die vorliegende Studie konnte nun nachweisen, dass die Translokation *ETV6-RUNX1* im Nabelschnurblut gesunder Neugeborener zu einem Anteil von 7,3 % vorkommt, also 100-fach häufiger auftritt als eine Leukämie-Erkrankung bei Kindern. Das Ergebnis bestätigt den im Vorgängerprojekt ermittelten Frequenzbereich. Damit sind die widersprüchlichen Ergebnisse aus der bisher vorliegenden Fachliteratur geklärt. Die Erkrankung entwickelt sich trotz Prädisposition sehr selten. Zukünftig gilt es zu untersuchen, welche Faktoren für die Entwicklung einer Leukämie hier eine Rolle spielen. So ist zu klären, ob ionisierende Strahlung bei vorliegender genetischer Prädisposition wie die Translokation *ETV6-RUNX1* Leukämie auslösen kann und welche zusätzlichen genetischen Veränderungen dabei entstehen können. Im Pilotprojekt 3618S32274 wurde diese Fragestellung in einem ersten Ansatz mit einem Mausmodell untersucht.

2.4 Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

2.4 *Subject area 04*
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema

Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm (Mortalitätsevaluation) - 1. Teil der Hauptstudie

Subject

Evaluation of the breast cancer mortality in the German Mammography Screening Program (MSP)

Kennzeichen

3617S42402

Beginn

01.01.2018

Ende

31.03.2021

Fördermittel

EUR 904.194,-

Forschungs- / Auftragnehmer

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

Projektleitung

Univ.-Prof. Dr. med. A. Karch, MSc

Fachbetreuung BfS

Prof. Dr. G. Brix / MB

verantwortlich für den Text

Univ.-Prof. Dr. med. A. Karch, MSc

1. ZIELSETZUNG

Die Durchführung dieser Studie hat zum Ziel, den Einfluss des deutschen Mammographie-Screening-Programms auf die brustkrebsassoziierte Mortalität zu evaluieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

In den zwei Machbarkeitsstudien, die der Hauptstudie vorangeschaltet wurden, konnten Verfahren zur Nutzung von Daten aus den klinischen und epidemiologischen Krebsregistern, der Kassenärztlichen Vereinigungen Nordrhein und Westfalen-Lippe sowie aus den sechs im Vorhaben involvierten gesetzlichen Krankenkassen entwickelt werden. Das übergeordnete Ziel der Hauptstudie I war die Implementierung dieser Verfahren und die damit verbundene Überführung der technisch-organisatorisch konzipierten Ansätze in die Praxis, um so die notwendige Datenbasis für die jeweiligen Auswertungen in den verschiedenen Ansätzen durch eine entsprechende Datensammlung und -haltung zu generieren. Um dieses Ziel zu erreichen, sollte zunächst eine Anpassung des entwickelten Datenflusskonzeptes erfolgen, bevor dann die weiterentwickelten Softwarekomponenten implementiert und somit der Pseudonymisierungsdienst, die Daten zusammenführende Stelle und die Evaluierende Stelle (ES) eingerichtet werden sollten, um die in der Hauptstudie I geplanten Datenflüsse in den jeweiligen Ansätzen umsetzen zu können.

Im kassenbasierten Ansatz werden Abrechnungsdaten von insgesamt sechs deutschen, teils überregional agierenden Krankenkassen zusammengeführt. In der Hauptstudie I war das Ziel, Datenjahre von 2004 bis 2017/18 in die jeweilige Datenbank einzupflegen. Da in diesen Daten originär keine Informationen zur Todesursache enthalten sind, sollte eine Anreicherung sowohl mittels direkter Abgleiche mit drei epidemiologischen Krebsregistern als auch mit Hilfe eines adaptierten Gagnon-Algorithmus erfolgen. Vor Durchführung der Abgleiche sowie einem Testdatenfluss in die Kassendaten zusammenführende Stelle (KDZS) war das Einholen der erforderlichen Genehmigung ein ebenfalls zentrales Ziel dieser Studienphase.

Der bevölkerungsbasierte Ansatz, der für die Studienregion Nordrhein-Westfalen durchgeführt wird, soll dazu beitragen, eine detaillierte Darstellung der Evidenzbasis hinsichtlich der auftretenden Brustkrebstumore (z. B. Größe und Stadium) zu generieren, um so die Analysen der gesetzlichen Krankenkassendaten hochauflösend im Sinne der konvergierenden Evidenzen zu ergänzen. Dafür sollten in der Hauptstudie I nach der erfolgreichen Einrichtung der beteiligten Stellen die Daten des Landeskrebsregisters Nordrhein-Westfalen gGmbH (LKR NRW) mit den Daten der Kassenärztlichen Vereinigungen Nordrhein und Westfalen-Lippe nach Genehmigungseinholung eingespeist, durch Record-Linkage miteinander verknüpft und in der ES gemäß dem Datenflusskonzept abgerufen werden. Auf dieser Datengrundlage sollten dann u. a. Plausibilitäts- und Konsistenzprüfungen der Datenlieferungen erfolgen. Im

Rahmen einer begleitenden Studie sollten darüber hinaus noch die Inzidenzraten für fortgeschrittene Tumorstadien ermittelt werden, da eine Reduktion dessen ein von den Europäischen Leitlinien zur Qualitätssicherung des Mammographie-Screening-Programms vorgeschlagener Surrogat-Parameter zur Beurteilung der Wirksamkeit des Mammographie-Screening-Programms (MSP) ist.

Darüber hinaus sollten die ebenfalls bereits in den zwei Machbarkeitsstudien konzipierten statistischen und epidemiologischen Auswertungskonzepte in diesen beiden Ansätzen stetig vom Konsortium unter Berücksichtigung der kontinuierlich zunehmenden Erkenntnisse in der Forschung angepasst und weiterentwickelt werden. Des Weiteren sollte auch die Notwendigkeit einer sogenannten modellübergreifenden Daten zusammenführende Stelle (mDZS) geprüft werden, in der Datensätze aus dem kassen- und bevölkerungsbasierten Ansatz zusammengeführt werden könnten. Im Zuge dessen sollte auch ein Konzept zur technischen Umsetzung sowie ein Auswertungskonzept entwickelt werden.

Der Ansatz der klinischen Krebsregisterdaten hat zum Ziel, bestehende Daten eines klinischen Krebsregisters mit Informationen der dortigen Mammographie-Screening-Einheiten anzureichern, welche dann von der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Tumorzentren e. V. (ADT) ausgewertet werden (s. Abbildung 1, blauer Zweig). Ziel dieser retrospektiven Analyse ist die Ableitung von Aussagen zu Auswirkungen der Therapieadhärenz und der weiteren Versorgung auf die Mortalität von am Mammographie-Screening-Programm teilnehmenden und nicht-teilnehmenden Frauen. Auf Grund dessen, dass die Teilnahmebereitschaft am Mammographie-Screening-Programm, aber auch Lebensstilfaktoren und die Therapieadhärenz die brustkrebsassoziierte Sterblichkeit beeinflussen und stark verzerren können, soll dieser Ansatz die beiden zuvor beschriebenen Auswertungen ergänzen. Deshalb sollte in Hauptstudie I ein Verfahren gemäß den aktuellen gesetzlichen Bestimmungen umgesetzt und die daraus entstehenden Daten analysiert werden.

Darüber hinaus war ein weiteres Ziel, die vom Auftraggeber initiierten externen Audits (s. REFOPLAN-Vorhaben 3619S42460) erfolgreich durchzuführen und abzuschließen.

In der am 15.12.2021 begonnenen Hauptstudie II sollen die Datenbasis finalisiert und daran anknüpfend die Auswertungen gemäß den konzipierten Analysekonzepten umgesetzt werden.

3. METHODIK

In dieser Evaluationsstudie wird die Strategie der konvergierenden Evidenzen verfolgt, indem die Daten der unterschiedlichen Datenquellen mit verschiedenen, sich ergänzenden Auswertungsverfahren hinsichtlich der Auswirkungen des deutschen Mammographie-Screening-Programms auf die Brustkrebssterblichkeit analysiert werden. Die drei methodischen Ansätze mit den dazugehörigen Datenquellen sind in der folgenden Abbildung 1 dargestellt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PROJEKTMANAGEMENT

Die Generalunternehmerin Westfälische Wilhelms-Universität koordiniert in der Hauptstudie weiterhin die administrativen und wissenschaftlichen Aktivitäten im Gesamtvorhaben und ist deshalb sowohl Ansprechpartnerin für das BfS als auch für die eigenen vier Unterauftragnehmer BIPS, SOCIUM, LKR NRW und ADT, mit denen sie gemeinsam das Konsortium bildet.

Im halbjährlichen Rhythmus wurde eine fortlaufende Aktualisierung der Literatur vorgenommen, infolgedessen am Ende der Hauptstudie I insgesamt 742 relevante Artikel zum Forschungsthema in der etablierten und zentralen Literaturdatenbank für Auftragnehmer und Auftraggeber bereitgestellt werden konnten.

Infolge der SARS-CoV-2-Pandemie wurden sowohl die Quartalstreffen als auch die wissenschaftlichen Treffen ab Frühjahr 2020 virtuell umgesetzt. Auch die externe Auditierung (s. REFOPLAN-Vorhaben 3619S42460) wurde im Rahmen einer Videokonferenz durchgeführt und abgeschlossen.

Infolge des verbindlichen Inkrafttretens der EU-DSGVO in 2018 war u.a. eine Anpassung des Datenschutzes erforderlich. Die Revision erfolgte in Abstimmung des Konsortiums und ist über den

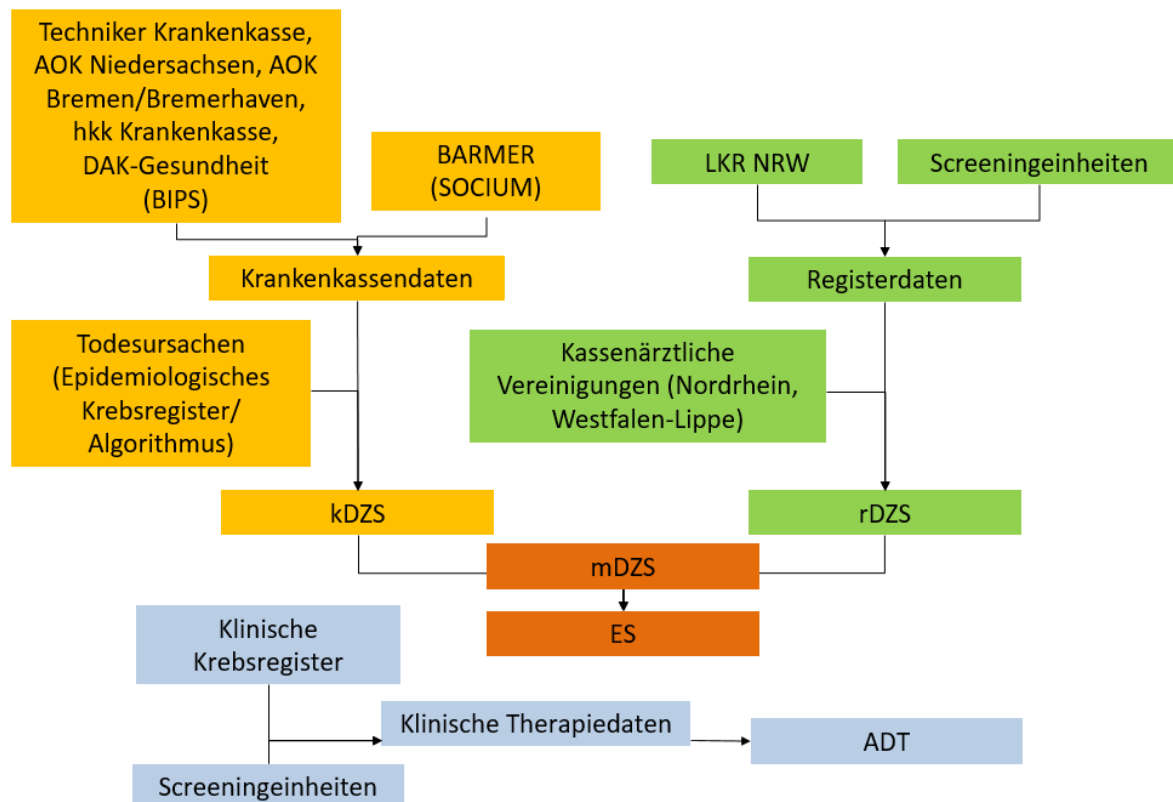


Abbildung 1: Übersicht über die drei Auswertungsmodelle (mit Datenquellen nach beteiligten Projektpartnern)

Auftraggeber auch dem Bundesbeauftragtem für den Datenschutz und die Informationsfreiheit vorgelegt worden, um danach den Datenfluss in den Ansätzen gemäß diesem Konzept initiieren zu können.

4.2 KASSENBASIERTER ANSATZ

Um den primären Endpunkt der Brustkrebsmortalität in diesem Ansatz evaluieren zu können, werden Abrechnungsdaten von insgesamt sechs, teils überregional agierenden Krankenkassen ausgewertet.

Die Abbildung 2 soll den bereits genannten Datenfluss für den jeweiligen Unterauftragnehmer darstellen und veranschaulichen, dass die Krankenkassendaten primär von BIPS und SOCIUM ohne die kDZS analysiert werden. Die jeweils an die kDZS und danach an die ES weitergeleiteten kassenbasierten Minimaldatensätze mit den reduzierten und vergrößerten Informationen (s. Kapitel 3) können dem Konsortium für zusätzliche Analysen in der Hauptstudie I dienen und werden möglicherweise nach Abschluss der Mortalitätsevaluation externen Forschungsnehmern bereitgestellt.

Um diesen Ansatz umsetzen zu können, müssen die im Folgenden dargestellten, teils für das BIPS und SOCIUM verschiedenen Genehmigungen eingeholt werden.

Damit die von den Krankenkassen an das BIPS gelieferten Daten sukzessive importiert, plausibilisiert, aufbereitet, pseudonymisiert und in den schon bestehenden Datenbestand integriert werden dürfen, bedarf es für jede Kasse einer Genehmigung der zuständigen Behörde (Bundesamt für Soziale Sicherung, Landesbehörden für Bremen und Niedersachsen) und der Kasse selbst. Nachdem das zu Grunde liegende Datenschutzkonzept sowie Studienproposal angepasst wurden, konnten die aus den Änderungen resultierenden Genehmigungsprozesse durchgeführt werden. Auch die Genehmigungen zur aktiven Nutzung der Daten über die Hauptstudie I hinaus sind eingeholt worden. Das SOCIUM hat mit der BARMER eine Datennutzungsvereinbarung geschlossen, die für die gesamte Hauptstudie Gültigkeit hat.

Um die direkten Todesursachenabgleiche für die mit dem BIPS kooperierenden Krankenkassen durchführen zu können, mussten für diese Nutzungserweiterungen ebenfalls Genehmigungen der Aufsichtsbehörden eingeholt werden, die mit erheblichem Zeitaufwand und Verzögerungen einhergingen und

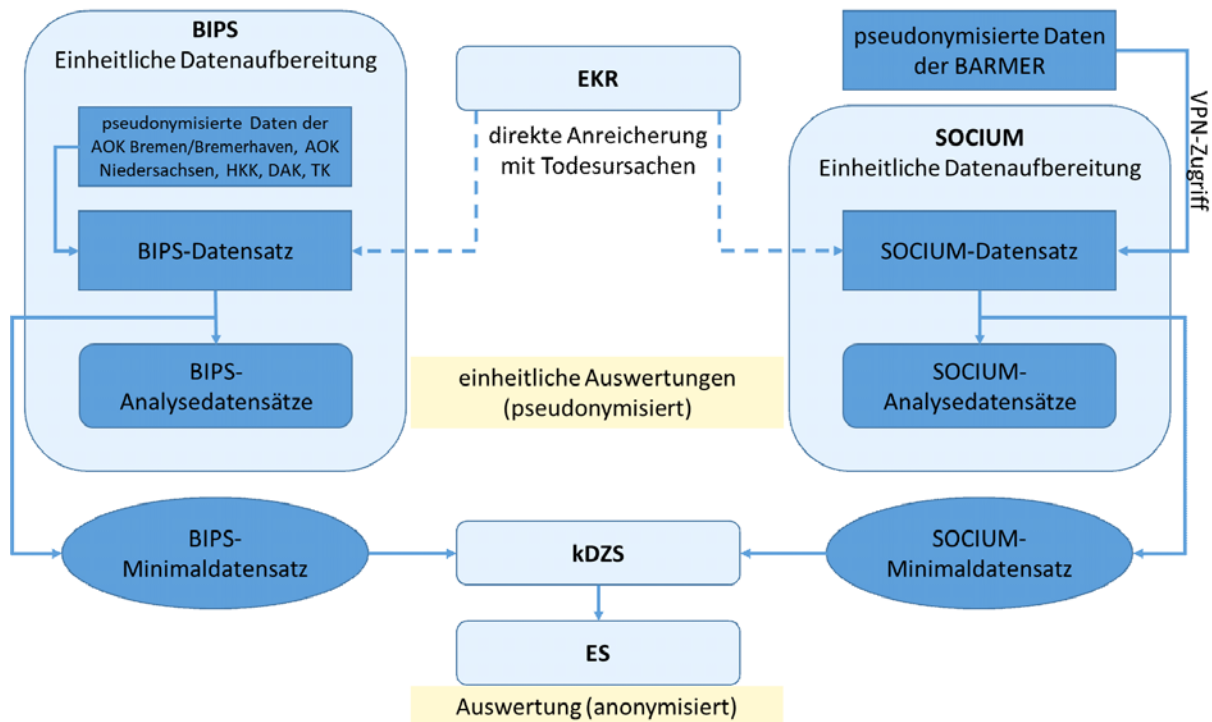


Abbildung 2: Übersicht über die drei Auswertungsmodelle (mit Datenquellen nach beteiligten Projektpartnern)

erst im späten Verlauf der Hauptstudie I vorlagen. Für die Durchführung der direkten Todesursachenabgleiche mit den Daten der BARMER konnte eine Kooperationsvereinbarung mit Erläuterungsschreiben zwischen dieser Krankenkasse, dem SOCIUM und dem jeweiligen Krebsregister geschlossen werden.

Sowohl das BIPS als auch das SOCIUM haben getrennt voneinander den Antrag auf Datennutzung beim LKR NRW gestellt, der auch jeweils bewilligt worden ist.

Die für die Übermittlung der kassenbasierten Minimaldatensätze an die kDZS erforderliche Genehmigung bzw. das dafür zunächst notwendige Vorabvotum des BAS lag zum Abschluss der Hauptstudie I nicht vor.

4.3 BEVÖLKERUNGSBASIERTER ANSATZ

Im bevölkerungsbasierten Ansatz werden die Daten des LKR NRW und der Kassenärztlichen Vereinigungen mittels Meldetool an den Pseudonymisierungsdienst zur Überverschlüsselung übermittelt. Von dort werden die Daten an die Registerdaten zusammenführende Stelle (rDZS) weitergeleitet, in der die Verknüpfung der Informationen dieser zwei Datenhalter mittels Record-Linkage erfolgt. Nach der „blinden Anonymisierung“ wird der Best-Of Datensatz an die ES übermittelt, in der die Entschlüsselung, der Abruf sowie die Bereitstellung der Daten für die Forschungsnehmer erfolgt (s. Abbildung 3). Während der Hauptstudie werden die Daten analog wie im kassenbasierten Ansatz ausschließlich dem Konsortium und somit keinen externen Forschungsnehmern zur Verfügung gestellt.

Nachdem das Fachkonzept für die ES erstellt sowie die Softwarekomponenten abschließend entwickelt und in die Praxis überführt wurden, konnte der Datenfluss initiiert werden. Der dafür notwendige Antrag zur Datennutzung wurde vom LKR NRW sowie den beteiligten Kassenärztlichen Vereinigungen genehmigt.

4.4 ANSATZ DER KLINISCHEN KREBSREGISTERDATEN

Nachdem zunächst ein Ansatz mittels direktem Austausch zwischen dem klinischen Krebsregister und dem Gemeinsamen Krebsregister angestrebt worden war, ergab eine Prüfung der ADT und der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, dass dieses Konzept aus organisatorischen und datenschutz-

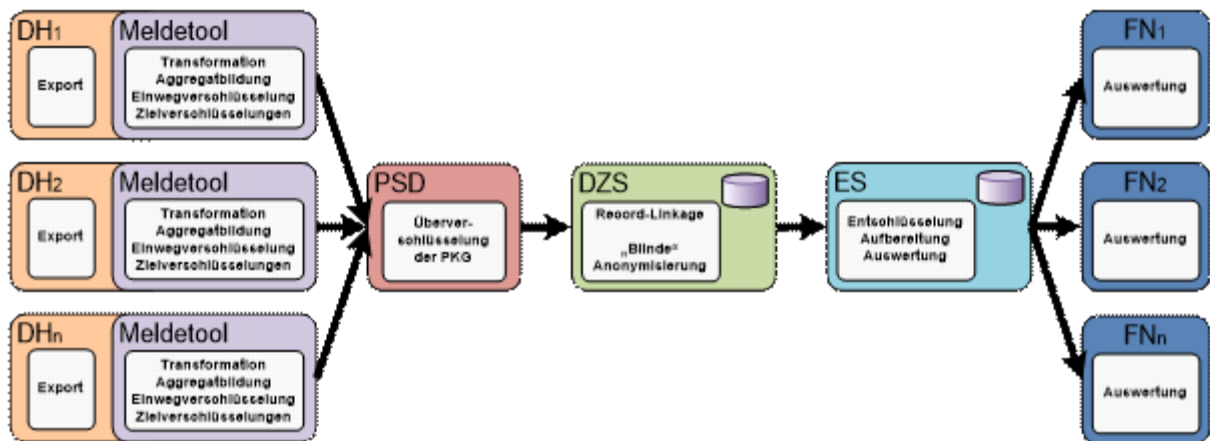


Abbildung 3: Datenfluss im Forschungsvorhaben

rechtlichen Gründen nicht praktisch umsetzbar ist. Stattdessen wurde der Bedarf einer vollständigen Konzeptneuerstellung identifiziert. Infolgedessen wurden erst die rechtlichen Bestimmungen bewertet. In Anlehnung daran konnte ein neues Fachkonzept zur Verknüpfung der Daten klinischer Krebsregister mit Informationen der dortigen Mammographie-Screening-Einheiten erstellt werden, welches nach einer Einholung der notwendigen Genehmigungen und im Falle einer erfolgreichen Pilotierung in einem Bundesland flächendeckend umgesetzt werden sollte.

5. ERGEBNISSE

In der Hauptstudie I wurden die vom LKR NRW in den Machbarkeitsstudien konzipierten Softwarekomponenten des Softwarepaketes SecuNym erfolgreich implementiert. Dabei wurde der Pseudonymisierungsdienst bei der KV-IT GmbH erfolgreich in den produktiven Betrieb überführt. Auch die beim Zentrum für Telematik und Telemedizin GmbH (ZTG) angesiedelte kDZS und rDZS konnten eingerichtet werden. Dadurch konnte die rDZS vollständig in den produktiven Betrieb genommen werden, so dass die dort stattfindenden Prozesse (Entgegennahme, Speicherung, Verknüpfung der verschiedenen Informationen mittels Record-Linkage sowie Anonymisierung und Weiterleitung an die ES) ausgeführt werden konnten. Die beim Auftraggeber angesiedelte ES wurde ebenfalls erfolgreich in Zusammenarbeit des LKR NRW mit seinem Vertragspartner und dem BFS zunächst entwickelt, in dem ein Fachkonzept gemeinsam abgestimmt wurde, bevor dann die Einrichtung und Inbetriebnahme erfolgt sind.

5.1 KASSENBASIERTER ANSATZ

Im kassenbasierten Ansatz konnten in dieser Studienphase die Rohdaten der insgesamt sechs im Vorhaben involvierten Krankenkassen bereitgestellt, eingearbeitet und auf Konsistenz überprüft werden. Für die mit dem SOCIUM kooperierende Krankenkasse wurde dabei die Datenbasis vollständig für den Zeitraum 2006 bis einschließlich 2018 eingepflegt. Für die mit dem BIPS kooperierenden Krankenkassen wurde die Datenbasis ab dem Jahr 2004 ebenfalls größtenteils eingespeist. Der direkte Todesursachen-Abgleich wies sowohl beim UA BIPS als auch beim UA SOCIUM aufgrund verschiedener, miteinander verwobener Faktoren Verzögerungen auf. Nichtsdestotrotz konnte durch den erfolgreichen Abschluss eines direkten Abgleichs gezeigt werden, dass das konzipierte Verfahren einschließlich der dafür notwendigen technischen Voraussetzungen für die Anreicherung der Todesursachen der Krankenkassendaten in die praktische Anwendung überführt werden konnte. Für die indirekte Anreicherung mittels validiertem Gagnon-Algorithmus wurden Programmieranweisungen mit entsprechender Berücksichtigung von Anpassungen an den jeweils spezifischen Datenbestand erstellt. Für die Datenbasis der BARMER konnte dies bis einschließlich dem Datenjahr 2018, für die mit den BIPS kooperierenden Krankenkassen bis 2015 erfolgen. Da die Brustkrebsmortalität als Endpunkt dieser Studie eine sehr hohe Relevanz hat, wurde das Potential verschiedener anderer methodischer Herangehensweisen (Random Forest Methoden, Sichtung von Versichertenprofilen) zur Optimierung des Algorithmus systematisch eruiert. Eine strukturierte Sichtung von Versichertenprofilen, d.h. eine inhaltlich orientierte Methode, erwies sich dabei als vielversprechend und konnte für eine Stichprobe an Frauen umgesetzt

werden. Die Vorbereitungen der Sichtung von Patientenprofilen sind abgeschlossen und die nächsten Arbeitsschritte konnten definiert werden.

Darüber hinaus konnte ebenfalls ein Testdatenfluss mit simulierten Daten in die kDZS abgeschlossen werden. Ein Routinebetrieb für die kDZS ist erst für den zweiten Teil der Hauptstudie vorgesehen.

Das Studienprotokoll für den Emulated Target Trial konnte nach ausführlichen Diskussionen und unter Einbeziehung aktueller Forschungserkenntnisse und ausgewiesener Expertise für den Bereich kausaler Inferenz bei Beobachtungsstudien finalisiert werden.

5.2 BEVÖLKERUNGSBASIERTER ANSATZ

Bedingt durch Verzögerungen in der Entwicklung und Implementierung, einer fehlenden Vorselektion von Duplikaten bei der Bereitstellung der Daten der zwei Kassenärztlichen Vereinigungen sowie Herausforderungen beim Record Linkage bestand in diesem Ansatz ein erheblicher Zeitverzug. Dies hatte zur Folge, dass nur ein Teildatensatz, bestehend aus Daten der Screeningeinheiten und des LKR NRW sowie der Kassenärztlichen Vereinigung Nordrhein, in der ES bereitgestellt werden konnte. Mit dem Transfer in die ES, der Ausgabe des Teildatensatzes und den durchgeführten Konsistenz- und Plausibilitätsprüfungen konnte aber gezeigt werden, dass das konzipierte Datenflusskonzept im produktiven Betrieb valide Daten erzeugen kann und somit für die weitere Anwendung in der Mortalitätsevaluation geeignet ist.

Außerdem konnte mit dem abgerufenen Best-Of-Teildatensatz eine empirische Bestimmung des Einflusses der gewählten k-Werte auf die Unterdrückungsraten durchgeführt werden, um so eine erste Abschätzung der tatsächlichen Unterdrückungsraten bei dem noch ausstehenden finalen Auswertungsdatensatz zu ermöglichen. Dabei konnte gezeigt werden, dass die zur Gewährleistung der Anonymität der Daten notwendige k-Anonymitätsschwelle bei akzeptabler Vergrößerung der Merkmalsausprägungen zu niedrigen Unterdrückungsraten führt.

Des Weiteren wurden Arbeiten aus späteren Projektphasen vorgezogen, wobei weitergehende Analysen zum Korrekturfaktor zur Anpassung des klassischen Korrekturfaktorenansatzes durchgeführt worden sind. Darüber hinaus sind aber auch weitere Ansätze zur Korrektur der Verzerrungen in diesem Ansatz, ebenfalls unter Berücksichtigung der aktuellen Forschungserkenntnisse, erörtert und analysiert worden.

Vom LKR NRW wurden in Zusammenarbeit mit der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster in dieser Studienphase auch die Inzidenzraten für fortgeschrittene Brustkrebsstadien nach den EU-Richtlinien ermittelt. Die Ergebnisse der Studie wiesen mit einem relativen Rückgang unter den regulären Teilnehmerinnen am Mammographie-Screening-Programm von 16,5 % für den ersten 24 Monatszeitraum bzw. 21,3 % nach dem ersten Folgescreening auf eine Verringerung der Brustkrebsinzidenz in fortgeschrittenen Stadien hin.

Für die mDZS konnte ein technisches Konzept entwickelt werden, das in der Hauptstudie II zur Umsetzung bereit steht. Auf Grund der Komplexität und des begrenzten Zeitraums ist dies aber mit einem hohen Durchführungsrisiko verbunden. Trotz einer reduzierten zeitlichen Auflösung in diesem Datensatz könnte die umzusetzende Auswertung im Emulated Target Trial-Design entsprechend der Methodik des kassenbasierten Ansatzes durchgeführt werden.

5.3 ANSATZ KLINISCHER KREBSREGISTERDATEN

Im Ansatz der klinischen Krebsregisterdaten wurde eine mögliche Zusammenführung und Anreicherung mit den Informationen der Screeningeinheiten geprüft. Dabei wurde festgestellt, dass ein Datenabgleich nur in Nordrhein-Westfalen sowie in Niedersachsen bereits etabliert ist, wohingegen in den übrigen Bundesländern dieses Vorhaben erst noch umgesetzt werden soll. Die Verfügbarkeit von klinischen Krebsregisterdaten für den relevanten Studienzeitraum ist allerdings sehr beschränkt, da die Informationen nur in einigen Regionen von Bayern und Baden-Württemberg sowie in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen gänzlich verfügbar sind. Nachdem ein Fachkonzept für die Zusammenführung der Daten entwickelt werden konnte, wurde anschließend eine Pilotierung in der ursprünglichen Modellregion angestrebt, bevor das Verfahren im Falle einer positiven Evaluation bundesweit ausgeweitet werden sollte. Nach negativer Rückmeldung zum geplanten Vorhaben in Mecklenburg-Vorpommern haben die Westfälische Wilhelms-Universität Müns-

ter und die ADT das gemeinsam erstellte Forschungskonzept auf die danach angestrebte Modellregion Sachsen-Anhalt angepasst und spezifiziert. Auf Grund der bis zum Ende dieser Studienphase ausstehenden notwendigen Genehmigungen konnte die Pilotstudie jedoch nicht umgesetzt werden. Da eine zeitnahe Erteilung nicht absehbar war, wird dieser Ansatz in der Hauptstudie II nicht weiterverfolgt. Der erfolgreich durchgeführte Testdatenfluss konnte aber zumindest eine mögliche Überführung des Forschungskonzepts in die Praxis sowie die grundsätzliche Eignung des Verfahren für die Verknüpfung der Informationen zeigen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Gemäß §84 StrlSchG sind Früherkennungsuntersuchungen wie das deutsche Mammographie-Screening-Programm durch das BfS wissenschaftlich zu bewerten. Hierbei sind Risiken und Nutzen der Früherkennungsuntersuchung gegeneinander abzuwägen. Diese Bewertung stützte sich bislang auf die Ergebnisse großer internationaler randomisierter Studien zum Mammographie-Screening, die in den 1970er und 80er Jahren v. a. in England, Schweden und Nordamerika durchgeführt wurden. Die Analysen der umfangreichen Daten, die sich aus dem flächendeckenden deutschen Screening-Programm mit über 10 Mio. anspruchsberechtigten Frauen ergibt, werden national wie international als wesentlich angesehen, um weitere Evidenz für einen möglichen Nutzen zu liefern. Die Mortalitätsevaluation wird mit einem Folgevorhaben (Hauptstudie II, REFOPLAN-Vorhaben 3621S42410) abgeschlossen werden. Dementsprechend wird hierbei der Schwerpunkt auf der abschließenden Bewertung des Einflusses des Mammographie-Screening-Programms auf die Brustkrebsmortalität sein.

Thema

Daten-, Prozess- und Auswertungsaudits im Zuge der Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm (MSP)

Subject

Data, process and evaluation audits in the course of the evaluation of breast cancer mortality in the German Mammography Screening Program (MSP)

Kennzeichen
3619S42460

Beginn
16.03.2020

Ende
31.05.2021

Fördermittel
EUR 27.164,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Institut für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie (IMIBE), Universitätsklinikum Essen

Projektleitung
Prof. Dr. K.-H. Jöckel

Fachbetreuung BfS
Dr. E. Schüler / MB 1

verantwortlich für den Text
Dr. K. Schuldt

1. ZIELSETZUNG

Seit 2009 wird flächendeckend in Deutschland ein organisiertes, qualitätsgesichertes Mammographie-Screening-Programm (MSP) angeboten. Ziele des MSP sind die Früherkennung von Brustkrebs auf höchstem Qualitätsniveau und die Reduktion der Brustkrebsmortalität. Um die langfristige Wirkung des MSP auf die Brustkrebsmortalität in der Zielbevölkerung in Deutschland zu evaluieren, wurde vom BfS ein Forschungsvorhaben an die Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Epidemiologie und Sozialmedizin (Generalunternehmer) vergeben („Mortalitätsevaluation“). Zur Sicherstellung der Qualität der Mortalitätsevaluation sollen in den Hauptstudien I und II Daten-, Prozess- und Auswertungsaudits durch ein unabhängiges Expertengremium durchgeführt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zur Qualitätssicherung der Hauptstudie I wurden im Rahmen dieses Vorhabens zwei Audits zu unterschiedlichen Zeitpunkten vom Institut für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie (IMIBE) des Universitätsklinikums Essen durchgeführt. Ziel der Hauptstudie I war, dass die von der Universität Münster in der Machbarkeitsphase technisch-organisatorisch entwickelten Datenmodelle in einen Routinebetrieb überführt werden, so dass eine kontinuierliche Datensammlung und -haltung erfolgen kann. Geplante Kernelemente der Daten- und Prozessaudits waren die Datenhaltung, die Datenflüsse, die Einschätzung der Qualität der Rohdaten und die Umsetzung des Datenschutzes. Datenauswertungen in der Hauptstudie I sollten nur in dem Maße erfolgen, wie sie für die Gewährleistung valider Datensätze erforderlich sind. Die Auswertungen zur Brustkrebsmortalität sind Bestandteil der Hauptstudie II und waren nicht Bestandteil dieser Audits.

2.1 ZIELE DES ERSTEN AUDITS

Ziel des ersten „Daten- und Prozessaudits“¹⁾ war die Feststellung des Status quo und des Konformitätsgrades von Aktivitäten, Prozessen, Dokumentationen bezüglich der Auditkriterien beim Generalunternehmer (GU) und bei den Unterauftragnehmern SOCIUM-Forschungszentrum Ungleichheit und Sozialpolitik der Universität Bremen, Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie-BIPS GmbH, Landeskrebsregister NRW gGmbH, dem Pseudonymisierungsdienst (PSD; angesiedelt bei der KV-IT GmbH²⁾) und der Daten zusammenführenden Stelle (DZS; angesiedelt am Zentrum für Telematik im Gesundheitswesen GmbH).

¹⁾ Die Anführungszeichen beim Audit sollen verdeutlichen, dass es sich nicht um ein Daten- und Auswertungsaudit im eigentlichen Sinne handelt, da auf Grund von Verzögerungen in der Hauptstudie I die Prozess- und Ergebnisqualität nur eingeschränkt beurteilt werden konnte. Die Begrifflichkeit Audit wird in dem Bericht beibehalten.

²⁾ IT-Gesellschaft für Integrierte Services im Gesundheitswesen

2.2 ZIELE DES ZWEITEN AUDITS

Ursprüngliches Ziel des zweiten „Daten- und Prozessaudits“ am Ende der Hauptstudie I war die Sicherstellung, dass valide, vollständige, zusammengeführte, anonymisierte Daten in der Evaluierenden Stelle beim BfS für die Auswertungen in der Hauptstudie II vorliegen. Auch das zweite Audit wurde auf Grund der Verzögerungen angepasst, gemeinsam mit dem Generalunternehmer und dem BfS geplant und abgestimmt. Dabei standen im zweiten Audit die Beurteilung der Umsetzung der Empfehlungen und Hinweise aus dem ersten Audit, die Erhebung des Status quo, die Feststellung des Konformitätsgrades von Aktivitäten, Prozessen, Dokumentationen mit den Auditkriterien und die Beurteilung des internen Qualitätssicherungsplans des Generalunternehmers im Vordergrund. Weiterhin erfolgte ein Testlauf der bisher eingesetzten Softwaremodule (SecuNym-RT, SecuNym-DCC, SecuNym-PS u. a.) durch das LKR NRW.

2.3 ABWEICHUNGEN VOM ERSTEN UND ZWEITEN AUDIT

Nach Rücksprache mit den einzelnen Institutionen konnte bereits vor Beginn der beiden Audits festgestellt werden, dass ein Daten- und Auswertungsaudit im eigentlichen Sinne auf Grund der Verzögerungen im Projekt nicht zielführend ist. Stattdessen wurde eine Feststellung des Status quo bei allen Beteiligten am Projekt zur Evaluation des deutschen Mammographie-Screening-Programms durchgeführt. Teile der Hauptstudie I werden ggf. zu einem späteren Zeitpunkt Bestandteil eines Audits sein. Eine Vor-Ort-Besichtigung fand wegen der SARS-CoV-2-Pandemie bei keinem der auditierten Institutionen statt. Als Ersatz wurden mit den jeweiligen Institutionen Videokonferenzen durchgeführt.

3. METHODIK

Die zu auditierenden Projektbeteiligten stellten Dokumente (Standard Operating Procedure - SOP), insbesondere zur Beurteilung der internen Qualitätssicherung, des Datenmanagements und zur Definition der Schnittstellen, Protokolle, Berichte, Verträge, Datenschutzvereinbarungen etc., die für die beiden Audits relevant waren, zur Verfügung. Diese Dokumente waren Bestandteil der Auditkriterien, die zur Feststellung des Konformitätsgrades von Aktivitäten, Prozessen, Dokumentationen etc. als Referenz genutzt wurden. Weitere Auditkriterien waren die Leitlinien und Empfehlungen der Guten Epidemiologischen Praxis (GEP) und der Guten Praxis der Sekundärdatenanalyse (GPS). Für alle am Projekt Beteiligten waren das revidierte Angebot des Generalunternehmers Westfälische Wilhelms-Universität Münster vom 21.11.2017 und das revidierte Datenschutzkonzept der Hauptstudie vom 31.01.2019 Grundlage des Audits.

Zusätzlich zu den Auditplänen, die die Auditziele, den Auditumfang, die Auditmethoden, den Auditablauf und die Auditkriterien enthielten, wurde jeder beteiligten Institution zur Unterstützung der Feststellung des Status quo ein Fragenkatalog zur Verfügung gestellt. Die Fragenkataloge wurden von allen Institutionen vor dem Audit vollständig beantwortet. Sie ermöglichten den Auditoren, aber auch den auditierten Institutionen, sich einen Überblick u. a. über den Umsetzungsstand der Arbeitspakete aus dem revidierten Angebot vom 21.11.2017, die Einhaltung und Umsetzung des Datenschutzes und der etablierten Qualitätssicherungsmaßnahmen zu verschaffen.

3.1 AUDITBEOBACHTUNGEN

Die Bewertungen der Auditbeobachtungen erfolgten in Anlehnung an die Definitionen der EMA¹⁾ GCP²⁾ Inspectors Working Group vom 01.12.2014 (EMA/INS/GCP/46309/ 2012). Dabei wird in geringfügige Beobachtungen, kritische Beobachtungen und schwerwiegende Beobachtungen unterschieden. Abhängig von der Ausprägung der Beobachtung wurden diese als nicht akzeptabel, direkte Verstöße gegen die Auditkriterien oder als abweichend von der erwarteten Praxis, jedoch ohne negativen Einfluss auf die Qualität und Integrität der Daten, eingestuft. Die Auditbeobachtungen wurden in einem Auditbericht dokumentiert und mit den Beteiligten diskutiert.

¹⁾ European Medicines Agency

²⁾ good clinical practice

Kritische Beobachtungen:

Gegebenheiten, Methoden oder Prozesse, die die Qualität und Integrität der Daten negativ beeinflussen. Kritische Mängel werden als nicht akzeptabel angesehen.

Schwerwiegende Beobachtungen:

Gegebenheiten, Praktiken/Methoden oder Prozesse, die die Qualität und Integrität der Daten negativ beeinflussen könnten. Schwerwiegende Mängel sind erhebliche Defizite und direkte Verstöße gegen die Auditkriterien.

Geringfügige Beobachtungen:

Gegebenheiten, Praktiken/Methoden oder Prozesse, die entgegen der erwarteten Praxis stehen, von denen aber nicht erwartet wird, dass sie einen negativen Einfluss auf die Qualität und Integrität der Daten haben.

4. DURCHFÜHRUNG

Das erste Audit fand im September 2020 statt. Das zweite Audit wurde im April 2021 durchgeführt.

4.1 ABLAUF DES ERSTEN AUDITS

Um die am Projekt Beteiligten optimal auf das Audit vorzubereiten, wurden in zwei Videokonferenzen die Anforderungen an ein Audit konkretisiert und der Auditplan vorgestellt. Der Auditplan enthielt die Auditziele, den Auditumfang, die Auditmethoden, den Auditablauf und die Auditkriterien.

Nach der Eröffnung des Audits erfolgte eine Präsentation der Struktur der auditierten Institutionen, inklusive Darstellung des Organigramms und der direkten Kooperationspartner im Projekt. Danach berichteten die Beteiligten über den Status quo des Projektes inklusive der Vorstellung des Meilensteinplans. Weitere Themen, die im Audit erörtert wurden, waren der Status quo des projektspezifischen Datenschutzes, des Datenmanagements und des internen Qualitätssicherungsplans. Anschließend wurden die Ergebnisse diskutiert und mögliche Verbesserungspotenziale erörtert. Weiterhin wurde über die Umsetzung des zweiten Audits diskutiert.

4.2 ABLAUF DES ZWEITEN AUDITS

Im Rahmen einer Videokonferenz wurden die Anforderungen an das zweite Audit konkretisiert und der Auditplan vorgestellt. Der Auditplan enthielt die Auditziele, den Auditumfang, die Auditmethoden, den Auditablauf und die Auditkriterien. Der Auditplan wurde mit dem Generalunternehmer und dem BfS abgestimmt.

Weiterhin wurde zusätzlich, wie bereits im ersten Audit, für jede einzelne Institution zur Unterstützung der Feststellung des Status quo ein Fragenkatalog generiert und von allen beteiligten Institutionen vollständig beantwortet.

Nach der Eröffnung des Audits erfolgte eine Präsentation seitens des Generalunternehmers über den Umgang mit den Beobachtungen aus dem ersten Audit. Danach berichtete der Generalunternehmer über den Status quo des Projektes und über die Verlagerung von Teilarbeitspaketen zu einem späteren Zeitpunkt. Schwerpunkte des zweiten Audits waren die Qualitätssicherung und ein Testlauf der bisher implementierten Softwaremodule (SecuNym-RT, SecuNym-DCC, SecuNym-PS, SecuNym-ES u.a.) durch das LKR NRW.

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des ersten und zweiten Audits wurden jeweils in einem Auditbericht festgehalten. Die auditierten Institutionen hatten die Möglichkeit, begründete Änderungsvorschläge einzureichen, die dann unter Beteiligung von Vertretern des BfS diskutiert werden konnten.

5.1 ERGEBNISSE DES ERSTEN AUDITS

Die Erhebung des Status quo war von Seiten der auditierten Institutionen gut vorbereitet.

Es konnten für alle auditierten Institutionen die folgenden Ergebnisse festgestellt werden:

- Es wurde bei keiner auditierten Institution eine kritische Beobachtung festgestellt.
- Es wurden bei zwei auditierten Institutionen eine schwerwiegende Beobachtung festgestellt.
- Es wurden bei allen auditierten Institutionen 15 geringfügige Beobachtungen (Mehrfachfeststellungen unterschiedlicher Institutionen wurden als eine Beobachtung gezählt) festgestellt.

5.1.1 Ergebnisse Generalunternehmer:

Der Generalunternehmer begleitet kontinuierlich die Unterauftragnehmer bei administrativen und inhaltlichen Fragen. Es finden regelmäßig Projekttreffen und Telefonkonferenzen mit den beteiligten Institutionen statt. Der Generalunternehmer überprüft die Einhaltung der Projektpläne und führt die regelmäßigen vertraglichen Angelegenheiten durch.

Der Studienantrag ist gleichzeitig der Studienplan. Abweichungen vom Studienplan werden dokumentiert und versioniert. Dem Generalunternehmer liegen alle Zeitpläne der Institutionen vor. Der Zielerreichungsgrad wird für den Generalunternehmer und von allen Institutionen erfasst und in Quartalsberichten dem BfS zur Verfügung gestellt. Ein über die Projektpartner hinweg etabliertes Konzept zur internen Qualitätssicherung liegt nicht vor. Sowohl der Generalunternehmer als auch die Unterauftragnehmer führen unabhängig voneinander qualitätssichernde Maßnahmen im jeweiligen Arbeitsbereich durch. Ein Berichtswesen ist etabliert. Abschluss- und Quartalsberichte werden erstellt. Ein Konzept zur technischen Umsetzung der modellübergreifenden Daten zusammenführenden Stelle und ein Fachkonzept der Evaluierenden Stelle wurden vom BfS in Zusammenarbeit mit dem LKR NRW entwickelt. Ein Datenschutzkonzept liegt vor. Die Punkte Datenübermittlung, Datenhaltung, Dauer der Aufbewahrung der Daten und Zugriffsberechtigungen sind im Datenschutzkonzept enthalten. Zusätzlich gelten auch die institutsspezifischen Datenschutzregelungen. Eine Vereinbarung zur gemeinsamen Verantwortlichkeit nach der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) wird angestrebt und befindet sich im Abstimmungsprozess.

Für den Generalunternehmer wurde u. a. folgendes Verbesserungspotenzial aufgezeigt:

- Monitoring des Meilensteinplans für das gesamte Projekt und Meilensteinpläne der beteiligten Institutionen mit kontinuierlicher Feststellung des Zielerreichungsgrades
- Koordination der Qualitätssicherungsaktivitäten bei den Unterauftragnehmern zur Vorbereitung der Datenaudits und Konzepterstellung für das zweite Datenaudit,
- Schulung der beteiligten Institutionen zum projektspezifischen Datenschutz
- Veröffentlichung des Datenschutzkonzeptes

5.1.2 Ergebnisse BIPS und SOCIUM:

Das BIPS nutzt Daten der Allgemeinen Ortskrankenkasse (AOK) Bremen/Bremerhaven, der AOK Niedersachsen, der Handelskrankenkasse (HKK), der Deutsche Angestellten Krankenkasse (DAK) und der Techniker Krankenkasse (TK). Kooperationsvereinbarungen mit den genannten Krankenkassen liegen vor.

Für einige Krankenkassen wurden weitere Datenjahre importiert. Für die Datenjahre 2005-2014 ist die Integration der Daten der AOK Niedersachsen erfolgt. Die Daten der unterschiedlichen Krankenkassen liegen in verschiedenen Formaten vor, so dass eine kassenindividuelle Verarbeitung erforderlich ist. Die Programmierung wurde an die erweiterten Datenbestände angepasst. Es liegen bisher keine abschließenden deskriptiven Auswertungen zum Datenbestand vor. Datenaudits (intern) wurden bisher nicht durchgeführt und waren nicht Bestandteil der Hauptstudie I. Quartalsberichte werden erstellt und dem Generalunternehmer zur Verfügung gestellt.

Zum Zeitpunkt des ersten Audits fand noch keine Anreicherung der Daten mit amtlichen Todesursachen statt. Es erfolgen Abstimmungen mit den epidemiologischen Krebsregistern NRW, Niedersachsen und Bayern. Weiterhin wurden Unterlagen für die Einholung der Genehmigungen für den Abgleich mit

den Epidemiologischen Krebsregistern erstellt. Es liegen verschiedene SOP aus dem Projekt GePaRD (German Pharmacoepidemiological Research Database) vor, in dem die Datenerfassung, die Datenbereitstellung, die Datenübermittlung, die Datensicherung, Maßnahmen zur Qualitätssicherung, die Archivierung und das Datenmanagement dargelegt werden. Es gibt einen statistischen Analyseplan und einen Datenmanagementplan. Abweichungen vom Studienplan werden dokumentiert und versioniert. Rohdaten werden in der Vertrauensstelle gesichert. Verschiedene qualitätssichernde Maßnahmen wie die Dokumentation des Lieferdatums bei der Übermittlung der Daten, die Rücksprachen mit dem Dateneigner bei Plausibilitätskontrollen und die Dokumentation von Änderungen der Variablenwerte werden hier beispielhaft erwähnt. Testläufe erfolgen vor dem Routinebetrieb. Ein kontinuierliches Datenmonitoring wird durchgeführt, allerdings kein standardisiertes Reporting, welches in einer Hauptstudie II realisierbar wäre. Zur Qualitätssicherung der Programmierungen werden Doppelprogrammierungen durchgeführt. Eine SOP zum indirekten Todesursachenabgleich liegt ebenfalls vor.

Für das BIPS wurde u. a. angeregt, auch die dokumentierten Ergebnisse der internen Qualitätssicherung an den Generalunternehmer zu kommunizieren, auch wenn dieses so nicht Bestandteil der Ausschreibung war.

Das SOCIUM nutzt die Daten der BARMER. Kooperationsvereinbarungen mit den Epidemiologischen Krebsregistern Bayern, Niedersachsen und NRW für den Todesursachenabgleich liegen vor. Vorbereitungen zur Implementierung des in der Machbarkeitsstudie entwickelten Ansatzes des BIPS zur indirekten Bestimmung der Todesursachen („GAGNON-Algorithmus“) sollen im dritten Quartal 2020 abgeschlossen werden. Die Vorbereitungen des Roll-out auf alle Bundesländer, in denen ein direkter Todesursachenabgleich möglich ist, sowie auf restliche Bundesländer, in denen ausschließlich ein indirekter Todesursachenabgleich möglich ist, wurden abgeschlossen. Auch die Vorbereitungen zur Implementierung der Algorithmen des BIPS zur Ableitung der Propensity Scores zwecks Ausbalancierung der Teilnahmewahrscheinlichkeit am deutschen Mammographie-Screening-Programm wurden abgeschlossen, aber noch nicht umgesetzt.

Konsistenzprüfungen der gewonnenen Datenbestände werden vorgenommen und dokumentiert. Ein separater Studienplan bzw. OP-Handbuch liegen nicht vor. SOPs zur Datenerfassung, ein Konzept zur Datenbereitstellung, Datenübermittlung, Datensicherung, Maßnahmen zur Qualitätssicherung (Schulungen etc.), Archivierung und Datenmanagement werden aktuell erstellt bzw. es liegen bereits einzelne SOPs vor.

Als Data Dictionary wird das Code-Book der BARMER genutzt. Es finden regelmäßige Arbeitstreffen zwischen BIPS und SOCIUM statt. Für die Prozesse gibt es eine gemeinsame Qualitätssicherung. Besonders hervorzuheben ist, dass gemeinsame Absprachen mit dem BIPS hinsichtlich Datenaufbereitung, Datenverarbeitung und Datenauswertung erfolgen. Ebenso beim SOCIUM wurde eine Dokumentation der korrekten Zusammenführung der direkten Todesursachenabgleiche mit den Kassendaten empfohlen. Weiterhin wurde die Teilung des Statistischen Analyseplans in einen Datenmanagementplan und einen Datenauswertungsplan mit konsequenter Versionierung angeregt.

5.1.3 Ergebnisse LKR NRW, Pseudonymisierungsdienst und der Daten zusammenführenden Stelle:

Das LKR NRW nimmt eine zentrale Rolle bei der Etablierung der Strukturen im Rahmen des Projektes Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm ein. Es entwickelt die projektspezifische Software SecuNym mit einzelnen Modulen für die Datenhalter, für den Pseudonymisierungsdienst, für die Daten zusammenführende Stelle sowie für die Evaluierende Stelle. Kooperationspartner sind die KV-IT GmbH (Pseudonymisierungsdienst), das Zentrum für Telematik und Telemedizin GmbH - ZTG (Daten zusammenführende Stelle), die Kassenärztlichen Vereinigungen Westfalen-Lippe und Nordrhein als Datenlieferanten und das BIPS und SOCIUM. Alle am Projekt beteiligten Institutionen sind abhängig von der Implementierung von Softwarekomponenten an den einzelnen Standorten. Die vollständige Umsetzung des Datenflusskonzeptes von BIPS und SOCIUM über den Pseudonymisierungsdienst und die Daten zusammenführende Stelle zur Evaluierenden Stelle wird vom LKR NRW maßgeblich beeinflusst. Zentrale Aufgabe des LKR NRW in der Hauptstudie I ist die Entwicklung/Implementierung der Softwarekomponenten. Die Entwicklung der Software erfolgt nach Scrum. Es werden Entwicklungsstrategien wie „pair programming“, „single programming“ und „code review“ eingesetzt. Außerdem erfolgen zahlreiche Tests bei der Implementierung der Softwarekomponenten

auch mit Testdaten (entweder manuell oder automatisiert) bevor diese in Betrieb genommen werden. Eine Dokumentation der Testergebnisse liegt nicht vor.

Für das erste Audit konnte festgestellt werden, dass wegen der Verzögerungen nicht alle Softwarekomponenten in Betrieb genommen wurden. Als schwerwiegende Beobachtung wurde angemerkt, dass kein Vertrag zur Auftragsverarbeitung zwischen dem LKR NRW und der KV-IT-GmbH vorliegt. Der Vertrag wurde nach dem Audit umgehend abgeschlossen. Auch für die Tätigkeiten beim LKR NRW wurden Testberichte mit Testergebnissen und Informationen des Generalunternehmers vorgeschlagen.

Die Daten zusammenführende Stelle, die bei der ZTG angesiedelt ist, ist kein zertifiziertes Rechenzentrum, so dass überlegt werden sollte, ob aus datenschutzrechtlicher Sicht ein Rechenzentrum zu bevorzugen wäre. Für alle am Projekt Beteiligten wurde eine projektspezifische Datenschutzbildung empfohlen.

5.2 ERGEBNISSE DES ZWEITEN AUDITS

Die Erhebung des Status quo war von Seiten des Generalunternehmers sehr gut vorbereitet. Aus Sicht der Auditoren konnte festgestellt werden, dass insbesondere nach dem ersten Audit zahlreiche Qualitätssicherungsmaßnahmen ergriffen wurden. Die im ersten Audit empfohlenen Hinweise wurden umgesetzt und einzelne Dokumente den Auditoren vorgelegt (Ausnahme: Kontinuierliches Reporting zur Datenqualität, was ggf. Bestandteil der Hauptstudie II sein soll). Die technische Funktionalität der bisher eingesetzten Softwaremodule (SecuNym-RT, SecuNym-DCC, SecuNym-PS, SecuNym-ES u.a.) wurde mit einem Testdatensatz von ca. 100 Meldungen seitens des LKR NRW demonstriert. Die Testergebnisse wurden protokolliert.

Folgende Ergebnisse konnten im zweiten Audit festgestellt werden:

- Es gab keine kritischen Beobachtungen.
- Es gab keine schwerwiegenden Beobachtungen.
- Alle weiteren Beobachtungen wurden entweder als „geringfügig“ oder als Empfehlungen eingestuft und weisen auf Verbesserungspotenzial hin.

Geringfügige Beobachtung:

Interne Qualitätssicherung - Ampelsystem

Empfehlung: Abstimmung der Skalierung des Ampelsystems mit allen beteiligten Institutionen.

Weitere Hinweise, die jedoch nicht die Hauptstudie I, sondern die Hauptstudie II betreffen:

Berichtspflicht der Unterauftragnehmer zur Qualitätssicherung der Daten nach GEP und GPS in der Hauptstudie II:

Empfehlung: Berichte über Qualitätssicherung und zur Datenvalidität sollen von allen beteiligten Institutionen erstellt und dem Generalunternehmer zur Verfügung gestellt werden.

Die noch offenen Prozesse in der Hauptstudie I werden zu einem späteren Zeitpunkt fortgeführt. Dies betrifft den Abschluss der Todesursachenabgleiche mit dem Epidemiologischen Krebsregister Niedersachsen und dem Bayerischen Krebsregister, die Bereitstellung und den Abruf eines vollständigen Auswertungsdatensatzes für den registerbasierten Ansatz und die Übermittlung der ausstehenden Genehmigung durch das Bundesamt für Soziale Sicherung.

Für die Hauptstudie II wird empfohlen, ein kontinuierliches, standardisiertes Reporting der Datenqualität zu berücksichtigen und auch vertraglich zu verankern. Durch langfristige Qualitätssicherungskonzepte und Monitoring der Qualität der Daten kann gewährleistet werden, dass die Daten in einer hohen Qualität den Forscher*innen zur Verfügung gestellt werden können. Die Durchführung eines Daten- und Auswertungsaudits (intern und ggf. extern) zur Sicherung der Qualität der Daten in der Hauptstudie II wird empfohlen.

5.3 SCHLUSSFOLGERUNG UND EMPFEHLUNGEN ZUR QUALITÄTSSICHERUNG DER HAUPTSTUDIE II

Auch wenn im Rahmen des geplanten Daten- und Auswertungsaudits Daten und Auswertungen auf Grund der Verzögerungen in der Hauptstudie I nicht beurteilbar waren, konnten sich die Auditoren davon überzeugen, dass zahlreiche Maßnahmen zur Qualitätssicherung ergriffen wurden und ein Moni-

toring der Qualität stattfindet. Die durchgeführten Qualitätssicherungsmaßnahmen sind geeignet, frühzeitig Fehler zu erkennen.

Seitens der Auditoren wird empfohlen die Qualitätssicherung der Prozesse, die in der Hauptstudie I nicht fertiggestellt werden konnten, fortzusetzen. Dies betrifft insbesondere die folgenden Aufgaben:

- Abschluss der Genehmigungsverfahren
- Datenübermittlung an die Kassendaten zusammenführende Stelle (Prüfung der Einhaltung des Datenumfangs)
- Vervollständigung der Datenbestände und deren Qualitätssicherung wie Plausibilitäts- und Konsistenzprüfungen
- Stand der finalen Anreicherung der GKV-Daten mit den Todesursachen/Abgleiche mit den Epidemiologischen Krebsregistern
- Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen und Prüfung der Optimierungsansätze des Todesursachenalgorithmus
- Deskriptive Auswertungen zum finalen Datenbestand (Kassendaten zusammenführende Stelle-Kohorte)
- Modellierung des Propensity Scores
- Vollständige Umsetzung des Datenflusskonzeptes und deren Qualitätssicherung
- Entwicklung und Anwendung des Korrekturfaktorverfahrens etc.

Weiterhin ist in der Hauptstudie II ein über die Projektpartner hinweg etabliertes Konzept zur internen Qualitätssicherung anzustreben.

Die Berichtspflicht der beteiligten Institutionen zur Qualitätssicherung der Daten nach GEP und GPS sollten in der Hauptstudie II umgesetzt werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Gemäß § 84 StrlSchG sind Früherkennungsuntersuchungen wie das deutsche Mammographie-Screening-Programm durch das BfS wissenschaftlich zu bewerten. Hierbei sind Risiken und Nutzen der Früherkennungsuntersuchung gegeneinander abzuwägen. Diese Bewertung stützte sich bislang auf die Ergebnisse großer internationaler randomisierter Studien zum Mammographie-Screening, die in den 1970er und 80er Jahren v. a. in England, Schweden und Nordamerika durchgeführt wurden. Die Analysen der umfangreichen Daten, die sich aus dem flächendeckenden deutschen Screening-Programm mit über 10 Mio. anspruchsberechtigten Frauen ergibt, werden national wie international als wesentlich angesehen, um weitere Evidenz für einen möglichen Nutzen zu liefern. Daher gilt es, auf die Qualitätssicherung und die Einhaltung des Datenschutzes bei der Verarbeitung dieses enorm großen und komplexen Datenbestandes besonders sorgfältig zu achten. Die durchgeführten Audits waren dabei ein wesentlicher Baustein.

Die Mortalitätsevaluation wird mit einem Folgevorhaben (Hauptstudie II) abgeschlossen werden. Die Ergebnisse der Audits sind in das Angebot zur Hauptstudie II eingeflossen. Der Umfang der qualitätssichernden Maßnahmen wurde im Vergleich zum vorherigen Vorhaben erhöht.

Es ist geplant, auch während der Hauptstudie II in einem parallelen Vorhaben Audits durchzuführen.

Thema

Konzept zur Umrechnung dosisrelevanter Parameter in der digitalen Volumentomographie

Subject

Development of a concept to convert dose quantities on cone beam computed tomography scenarios

Kennzeichen

3619S42462

Beginn

01.07.2019

Ende

30.12.2021

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 oder CBCT durchgeführt werden können. Aktuell ist es aber nicht möglich, konsistente DRW für diese Untersuchungen festzulegen. Es besteht daher der Wunsch, die spezifischen Dosisparameter ineinander umzurechnen und Expositionshöhen somit vergleichbar zu machen. 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.

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 sowie danach kontinuierlich waren aktuelle Informationen zu dem Thema aus internationalen Fachzeitschriften sowie von Empfehlungen nationaler und internationaler Gremien zu ermitteln und in die Arbeit des Projektes einzubeziehen.

2.2 VORSCHLAG GEEIGNETER KONZEPTE

Basierend auf der Recherche nach Abschnitt 2.1 sowie eigenen Überlegungen waren mindestens zwei geeignete Konzepte vorzulegen. Ein Konzept sollte auf der Basis von Phantommessungen an repräsentativen Geräten Umrechnungsfaktoren bestimmen. Das zweite Konzept sollte 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 waren für eine repräsentative Auswahl von CBCT-Geräten Umrechnungsfaktoren anhand von Messungen sowie auf der Basis von Simulationsrechnungen zu bestimmen. Die Arbeiten waren für eine repräsentative Auswahl von mindestens zehn CBCT-Geräten durchzuführen.

Für jedes CBCT-Gerät waren die Arbeiten für die klinischen Untersuchungsarten durchzuführen, für die vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) DRW veröffentlicht sind. Nach Bestimmung der Geräte- und

untersuchungsspezifischen Umrechnungsfaktoren war zu prüfen, ob für bestimmte Geräteklassen oder Untersuchungsarten einheitliche Umrechnungsfaktoren festgelegt werden können. Der mit der Vereinfachung verbundene Fehler war zu spezifizieren und zu bewerten.

3. METHODIK

Innerhalb des Vorhabens wurden zwei messtechnische und zwei simulationstechnische Strategien verfolgt, um Konversionsfaktoren zu ermitteln.

3.1 MESSTECHNISCHE KONZEPTE

Im messtechnischen Bereich wurden zwei von unterschiedlichen Seiten ausgehende Ansätze realisiert. An CBCT-Geräten, die nativ DFP als Dosisindikator einsetzen, wurden Messungen des DLP durchgeführt. Parallel wurden an CT-Geräten, die nativ DLP anzeigen, Messungen des DFP vorgenommen.

3.1.1 Messungen an CBCT-Geräten

Die Messungen des DLP wurden mit drei nebeneinandergelegten, 45 cm langen CTDI-Prüfkörpern für den Kopf- und Körperbereich durchgeführt. Die Dosismessung erfolgte einerseits mit einer 300 mm langen Ionisationsstabskammer, was auch bei CBCT-Geräten eine fast vollständige Messung der deponierten Dosis ermöglicht. Andererseits wurde entsprechend der Methode von Dixon / Boone die Messung von $f(0)$ als Dosis auf der Zentralachse durchgeführt. Aus der letzteren Messgröße lässt sich nach Multiplikation mit der Kollimation längs der Patientenachse ebenso ein DLP berechnen. Beide Herangehensweisen ergänzen sich bei Geräten unterschiedlicher Bauform. Zudem ermöglichen sie bei vielen Geräten eine unabhängige Prüfung der Messergebnisse. Die gemessene Dosis ist konzeptionell größer als diejenige, die im $CTDI_{100}$ -Konzept für die Festlegung von DRW verwendet wird. Eine Umrechnung auf die unvollständige Dosissammlung im $CTDI_{100}$ -Konzept ist durch Anwendung von Korrekturfaktoren einfach möglich.

3.1.2 Messungen an CT-Geräten

Ein konzeptionell entgegengesetzter aber gleichermaßen sinnvoll erscheinender Ansatz besteht darin, anstelle des DLP das DFP als die für beide Geräte verbindende Messgröße zu verwenden. Für den Ansatz müssen bei einem CT-Gerät die Ausblendungen im Isozentrum längs der Patientenachse und orthogonal dazu bestimmt werden, um eine effektive Fläche aufzuspannen, die dann mit der Dosis im Isozentrum multipliziert werden kann. Die effektive Länge orthogonal zur Patientenachse wird im Wesentlichen durch die Dosisprofile hinter den Ausgleichsfiltern bestimmt. Vorarbeiten, die einen Ansatz zur Bestimmung konkret beschreiben, sind seitens der PTB bereits an anderer Stelle publiziert worden.

3.2 SIMULATIONSTECHNISCHE KONZEPTE

Alternativ zum messtechnischen Ansatz wurden simulationstechnische Ansätze mit dem Ziel durchgeführt, unabhängig von konkreten Messungen ein allgemeingültiges Konzept zu entwickeln. Grundlegende Parameter, die als Eingangsgrößen für die Simulationen dienen, z. B. Informationen zum Spektrum oder die Schwächung der Patientenlagerungstische, sind losgelöst von dem eigentlich simulationstechnischen Ansatz messtechnisch zu ermitteln und zu ergänzen. Die Expositionsparameter für die einzelnen Untersuchungen sind den Untersuchungsprotokollen der jeweiligen Geräte zu entnehmen.

3.2.1 Simulation von messtechnischen Dosisparametern

Unter Verwendung der geräte- und aufnahmetechnischen Eingangsgrößen wurden die technischen Dosisparameter für unterschiedliche CT- und CBCT-Geräte simuliert. Dabei wurde der Parameterraum der Eingangsparameter bewusst gegenüber den messtechnisch verfügbaren Bereichen erweitert, um das Verhalten der Konversionsfaktoren in diesen Bereichen zu untersuchen.

3.2.2 Simulation über die effektive Dosis als Kopplungsgröße

Ansätze mit technischen Dosisgrößen als Kopplungsparameter haben final eine Limitation. Vergleiche auf der Basis von Dosisindizes haben eine gewisse Ferne von der Strahlenexposition realer Patienten.

Die Dosisverteilung, insbesondere bei den CBCT-Aufnahmen ist inhärent inhomogen. Dieses wird bei der Verwendung technischer Dosisparameter ignoriert. Aus diesem Grund wurde ein neuartiger Ansatz basierend auf der effektiven Dosis als Kopplungsgröße etabliert, bei dem gleichartige Untersuchungen an CT- und CBCT-Geräten simuliert wurden. Als Modellpatient wurde ein leicht modifiziertes männliches Voxelphantom nach ICRP 110 verwendet. In diesem wurden die Organ- und darauf aufbauend effektiven Dosen berechnet. Durch ein Gleichsetzen der effektiven Dosis der CT- und CBCT-Untersuchungen ergeben sich risikobasierte Konversionsfaktoren.

4. DURCHFÜHRUNG

Im Rahmen des Vorhabens wurden exemplarisch zwei CT-Geräte und 15 CBCT-Geräte betrachtet. Die CBCT-Geräte decken ein weites Spektrum von Gerätetypen ab, mit denen Untersuchungen am Kopf oder Körperstamm durchgeführt werden können, unter anderem stationäre Interventionsanlagen, mobile C-Bogengeräte sowie Geräte für die Dental- und HNO-Diagnostik. Betrachtet wurden die Untersuchungsbereiche bei denen eine klinische Nutzung von CBCT-Geräten als realistisch angesehen werden kann.

4.1 MESSTECHNISCHE ANSÄTZE

Es wurden insgesamt 34 Messungen durchgeführt, dabei wurde an fünf Geräten die vollständige Prozedur zur Abschätzung der Reproduzierbarkeit wiederholt. An einem Gerät wurden Dosismessungen sogar fünffach wiederholt. Gemessen wurden insbesondere das DLP_{300} sowie ein auf dem $f(0)$ -Konzept von Dixon basierender DLP-Wert mit einer 300 mm Stabkammer bzw. einer Farmerkammer in einem dreifachen CTDI-Prüfkörper. Die beiden unabhängigen Ansätze sollten bei idealen Geräten stets zu identischen Konversionsfaktoren führen. Abweichungen von der Übereinstimmung weisen auf Abweichungen von den angenommenen Idealbedingungen hin.

Weitergehende Größen waren die Kollimation, die Anzeigegenauigkeit der an den Geräten vorhandenen Dosisflächenproduktkammern, sowie das bei 3D-Aufnahmen verwendete Strahlspektrum. Bei einigen Geräten waren ergänzende Messansätze erforderlich, um den gerätetechnischen Besonderheiten Rechnung zu tragen. Messungen unter Nutzung der CTDI-Kopfphantome waren bei den CBCT-Geräten in fast allen Fällen in dem an CT üblichen Aufbau möglich. Die Strahlausdehnung in x-Richtung ist bei CBCT-Geräten jedoch so klein, dass die Position der Messsonden am CTDI-Körperphantom nicht über die gesamte Aufnahmetrajektorie hinweg im Strahlengang ist. Diesem Fakt wurde dadurch Rechnung getragen, dass anstelle der Positionen in der Peripherie des Körperphantoms bei den Messungen die peripheren Positionen im zentralen Kopfphantomeinsatz verwendet wurden. Die sich aus dem geänderten Messaufbau ergebenden Unterschiede wurden über spektrumsabhängige Korrekturfaktoren ausgeglichen.

An den CT-Geräten wurden primär das DLP einer Untersuchung mit einem einfachen CTDI-Prüfkörper und einer 100 mm Stabkammer sowie das zugehörige Dosisflächenprodukt als Produkt der Dosis im Isozentrum sowie der Strahlausdehnungen in x- und z-Richtung gemessen. Für die Strahlausdehnung in z-Richtung wurden die Dosis im Isozentrum mit einer Farmerkammer und das DLP der Untersuchung mit einer 100 mm Stabkammer gemessen. Die Messung der x-Ausdehnung erfolgte über die COBRA-Methode nach Rosendahl. Darüber hinaus wurden auch an den CT-Geräten die Schwächung der Patientenlagerungstische sowie die Röntgenspektren gemessen.

4.2 SIMULATIONSTECHNISCHE ANSÄTZE

Die Simulationen wurden mit dem Programm ImpactMC durchgeführt. Für den Ansatz unter Nutzung der Dosisindikatoren wurden Simulationen des CTDI-Kopfphantoms vorgenommen. Eingeschlossen wurden zwei CT-Geräte und fünf CBCT-Geräte. Bei den Geräten wurde durch Variation der Eingangsparameter die Abhängigkeit der Konversionsfaktoren im spektralen Bereich von Halbwertschichtdicken zwischen etwa 2,5 mm Aluminium und etwa 10,5 mm Aluminium untersucht. Die Auswirkung der Patientenlagerungstische wurde berücksichtigt. Die erhaltenen Resultate wurden mit einfachen theoretischen Vorhersagen zu den Konversionsfaktoren verglichen.

Simulationen zum risikobasierten Ansatz wurden an acht Röntgengeräten und in acht Untersuchungsregionen durchgeführt. Ausgehend von den Untersuchungsparametern, die an den jeweiligen Röntgengeräten vorgefunden wurden, wurden jeweils auch Untersuchungen simuliert, die mit Röntgenspannungen durchgeführt würden, die um jeweils 15 kV höher sowie niedriger liegen. Nachdem nicht an allen CBCT-Geräten alle Untersuchungen möglich sind, ergaben sich in der Summe 132 Simulationen.

5. ERGEBNISSE

5.1 MESSTECHNISCHE ANSÄTZE

Die Konversionsfaktoren, die sich für Messungen am CBCT-Kopfphantom ergeben, sind in Abbildung 1 / oben zusammenfassend gegen die Halbwertschichtdicke aufgetragen. Resultate, die sich aus den Ansätzen über die 300 mm Messkammer sowie die $f(0)$ Messung ergeben, sind nebeneinander aufgetragen. Es zeigt sich, dass der Erwartung folgend in den meisten Fällen beide Ansätze zu sehr ähnlichen Resultaten führen. Die Messwerte sind in den meisten Fällen im Rahmen der angenommenen Messunsicherheit gut im Einklang mit der theoretischen Prädiktion. Ein Modell eines C-Bogengerätes weicht systematisch ab, was auf eine Besonderheit bei diesem Modell hinweist. Unabhängig von der auffallenden Abweichung von der theoretischen Kurve ist festzustellen, dass die Messungen bei einer akzeptierten Abweichung von 20 % mit einem mittleren Konversionsfaktor von 23,6 cm vereinbar sind.

Bei dem CTDI-Körperphantom (Abbildung 1 / unten) sind größere Abweichungen zur theoretischen Prädiktion festzustellen. Insbesondere ist keine eindeutige Abhängigkeit des Konversionsfaktors vom Strahlspektrum zu beobachten. Es konnte im Rahmen des Vorhabens nicht geklärt werden, ob das beobachtete Verhalten auf Gerätemodelle zurückzuführen ist, die, genauso wie im Bereich des CTDI-Kopfphantoms, vom erwarteten Zusammenhang abweichen oder ein anderer Grund besteht. Unabhängig davon ist festzustellen, dass die Messungen bei einer akzeptierten Abweichung von 20 % mit einem mittleren Konversionsfaktor von 55 cm vereinbar sind.

Aufbauend auf den beiden genannten Konversionsfaktoren lassen sich die diagnostischen Referenzwerte aus der Computertomographie einfach in Werte im Format des Dosisflächenproduktes umrechnen. Bei diesem Ansatz ist jedoch zu bedenken, dass sich die Ausdehnungen der Untersuchungsvolumina in der Computertomographie und der CBCT-Diagnostik vielfach unterscheiden. Zudem sind die Feldausdehnungen an CBCT-Geräten in den meisten Fällen nicht an das konkrete Untersuchungsvolumen anpassbar. Dieses hat zur Folge, dass bei einer einfachen Übertragung Geräte mit einem kleinen Untersuchungsvolumen bevorteilt werden, wengleich die diagnostische Wertigkeit der Untersuchungen kleiner sein mag. Es erscheint sinnvoll, zu überlegen, anstelle des Dosisflächenproduktes für die Festlegung von diagnostischen Referenzwerten in der CBCT-Diagnostik auf die Einfallsdosis im Isozentrum zurückzugreifen. Diese wird erhalten, wenn der nach der Umrechnung aus dem DLP erhaltene Referenzwert durch die in der Computertomographie angenommene Untersuchungslänge und die Ausmaße des jeweils verwendeten Prüfkörpers (16 cm bzw. 32 cm) dividiert wird. Hierdurch wird eine Größe ermittelt, die unabhängig von individuellen Ausdehnungen in erster Näherung eine einheitliche Bildqualität anstrebt.

Die bei den Messungen an CT-Geräten erhaltenen Konversionsfaktoren stimmen für das CTDI-Kopfphantom gut mit den Resultaten an CBCT-Geräten überein. Bei den Messungen am CTDI-Körperphantom entsprechen die Konversionsfaktoren eher der theoretischen Prädiktion. Die Ursache für diesen systematischen Unterschied konnte im Rahmen des Vorhabens nicht geklärt werden.

Die anhand der Simulation der technischen Dosisindizes ermittelten Konversionsfaktoren sind mit den messtechnisch erhaltenen Werten gut vereinbar. Sie zeigen für das CTDI-Kopfphantom sehr schön die auch messtechnisch gefundene Abhängigkeit des Konversionsfaktors von der Halbwertschichtdicke des Röntgenspektrums (s. Abbildung 2). Hierbei ist jedoch darauf hinzuweisen, dass gerätetechnische Eigenheiten, die in den Simulationen naturgemäß nicht berücksichtigt wurden, dazu führen, dass die erhaltenen Resultate leicht von den messtechnischen Werten nach Abbildung 1 abweichen.

In Abbildung 3 sind exemplarisch Konversionsfaktoren dargestellt, die sich aus Simulationen mit der effektiven Dosis als Kopplungsgröße ergeben. Der Scanbereich 1 entspricht dabei einer Untersuchung

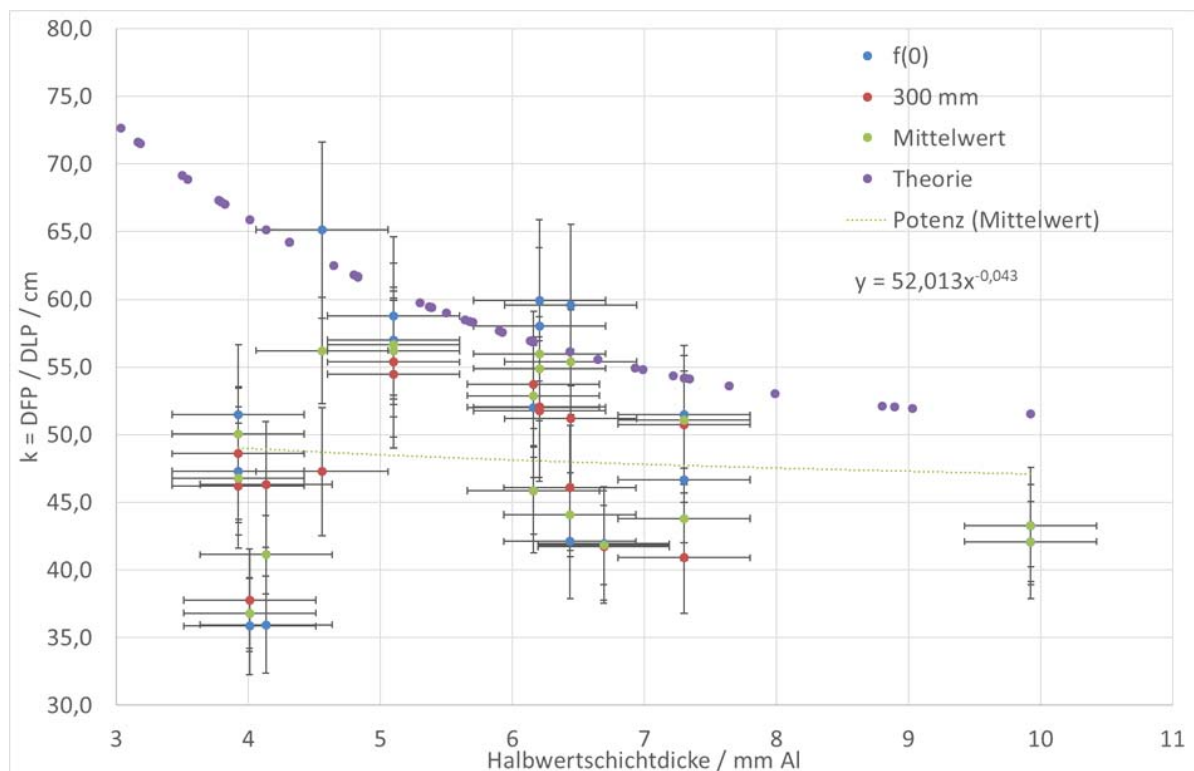
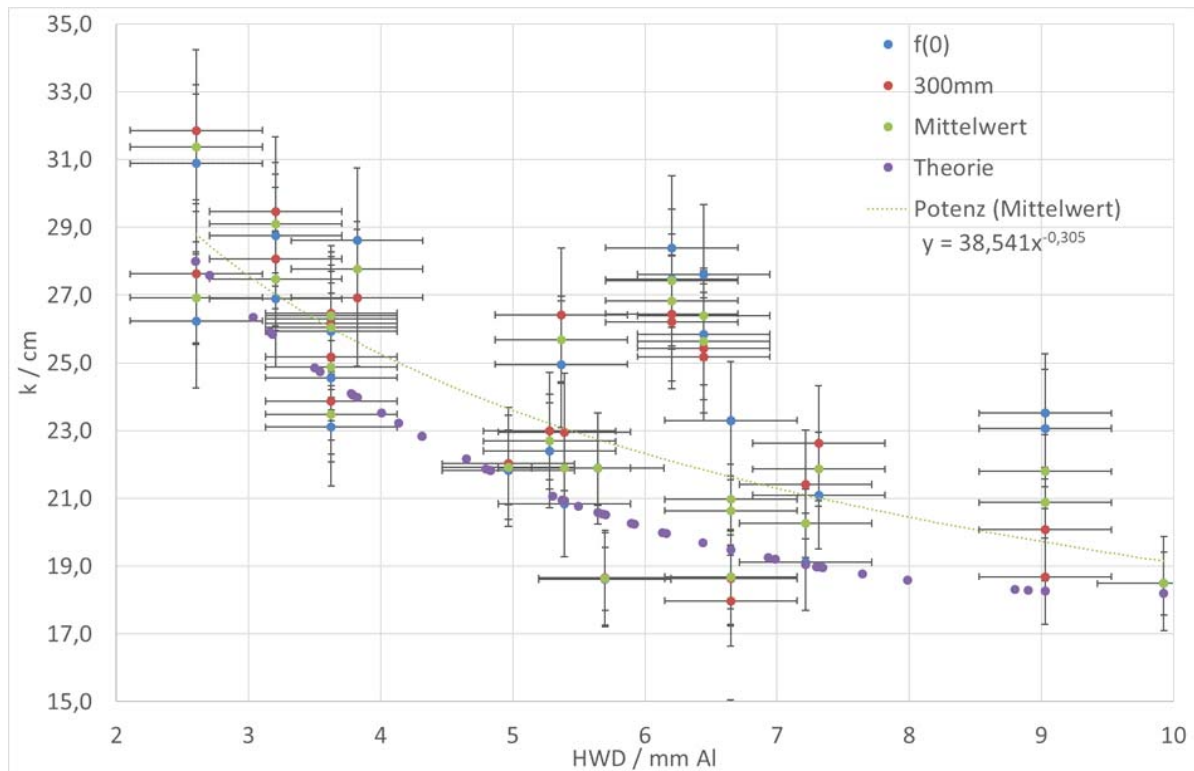


Abbildung 1: Zusammenhang des Konversionsfaktors k und der Halbwertschichtdicke HWD für Untersuchungen an CTDI-Prüfkörpern. Oben: CTDI-Kopfphantom; Unten: CTDI-Körperphantom; In Rot sind die Konversionsfaktoren dargestellt, die sich aus Messungen mit der 300 mm Stabkammer ergeben. In Blau sind entsprechende Werte dargestellt, die auf Messungen von $f(0)$ basieren. Der Mittelwert beider Ergebnisse ist in Grün dargestellt. Neben den Messpunkten sind eine Ausgleichsgrade bzgl. der Mittelwerte als grüne Punkte sowie eine Vorhersage des Verlaufs auf der Basis einfacher theoretischer Überlegungen in Violett dargestellt.

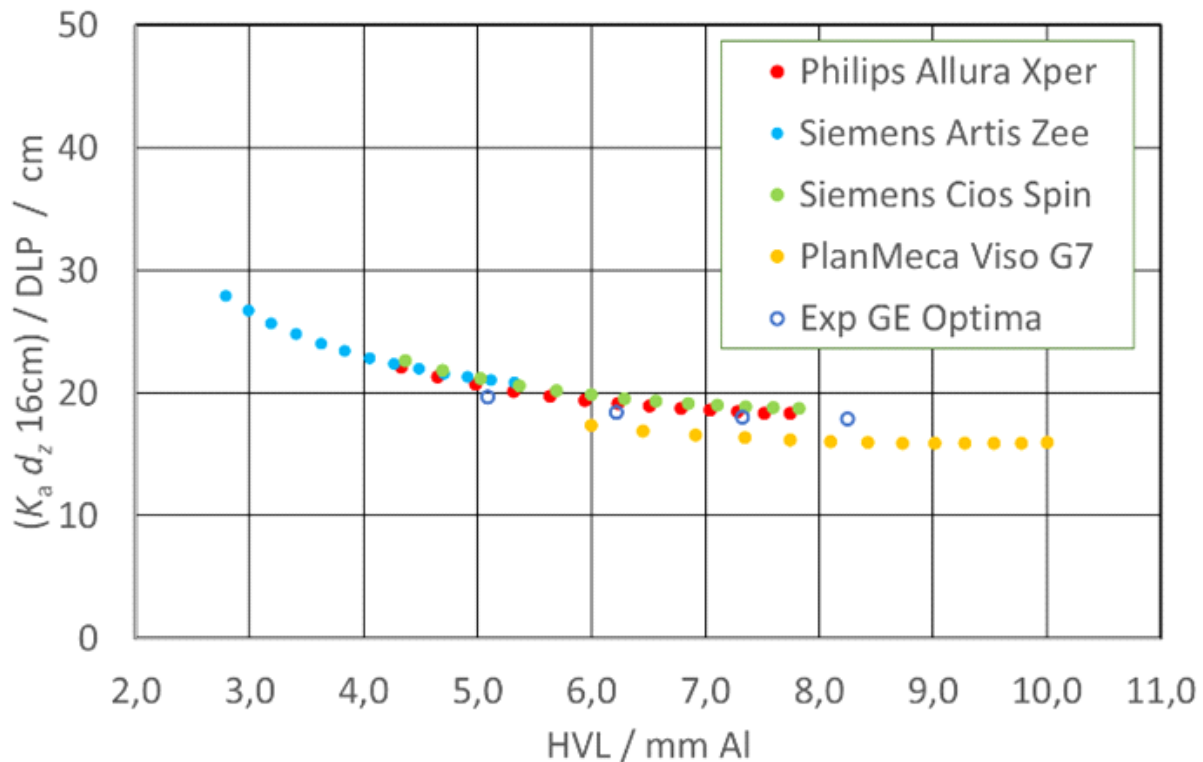


Abbildung 2: Simulationsergebnisse für den Ansatz über technische Dosisindikatoren; Gezeigt wird die Abhängigkeit des Konversionsfaktors von der Halbwertschichtdicke des Röntgenspektrums.

des Hirnschädels, der Scanbereich 6 einer Untersuchung des oberen Abdomens, z. B. im Rahmen einer Untersuchung der Leber. Betrachtet wurden jeweils zwei CT-Geräte für die CT-Untersuchung sowie eine Auswahl an CBCT-Geräten für die korrespondierende CBCT-Untersuchung. Es ist zu erkennen, dass sich die Konversionsfaktoren zwischen den Geräten zum Teil substantiell unterscheiden. Zudem ist zu erkennen, dass die Konversionsfaktoren bei einer Kopplung über die effektive Dosis relevant von denjenigen abweichen, die sich aus einer Kopplung über die technischen Dosisindikatoren ergeben.

Es war im Rahmen des Vorhabens nicht möglich, die Ursachen für die zum Teil deutlichen Unterschiede zu ermitteln. Es ist zu vermuten, dass die Unterschiede insbesondere auf unterschiedliche Größen der Untersuchungsfelder und unterschiedliche Rotationstrajektorien der Geräte sowie z. T. auch auf die deutlich abweichenden Röntgenspektren zurückzuführen sind. Weitergehende Untersuchungen hierzu sind jedoch in jedem Fall noch erforderlich. Insofern können die im Rahmen des Vorhabens erhaltenen Ergebnisse nur aufzeigen, dass die risikoadaptierte Kopplung zu relevant anderen Resultaten kommt. Für eine Anwendung auf diagnostische Referenzwerte muss dieses keinen Einfluss haben. Das liegt daran, dass entsprechende Einflüsse, die sich in Abbildung 3 allein im Unterschied zwischen den beiden hier exemplarisch betrachteten CT-Geräten zeigen, aktuell bei der Festlegung von Referenzwerten in der Computertomographie auch nicht berücksichtigt werden. Ob dies sinnvoll ist, sollte Gegenstand zukünftiger Diskussionen sein.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die vorgeschlagenen Konversionsfaktoren unterliegen relevanten methodischen Einschränkungen und können nicht für alle Gerätearten im Hinblick auf die Festlegung von diagnostischen Referenzwerten benutzt werden. Solange eine Einblendung bei den meisten DVT-Geräten nicht untersuchungsspezifisch möglich ist, ist eine sinnvolle Übertragung der für die konventionelle CT festgelegten DRW auf CB-CT-Systeme nicht praktikabel.

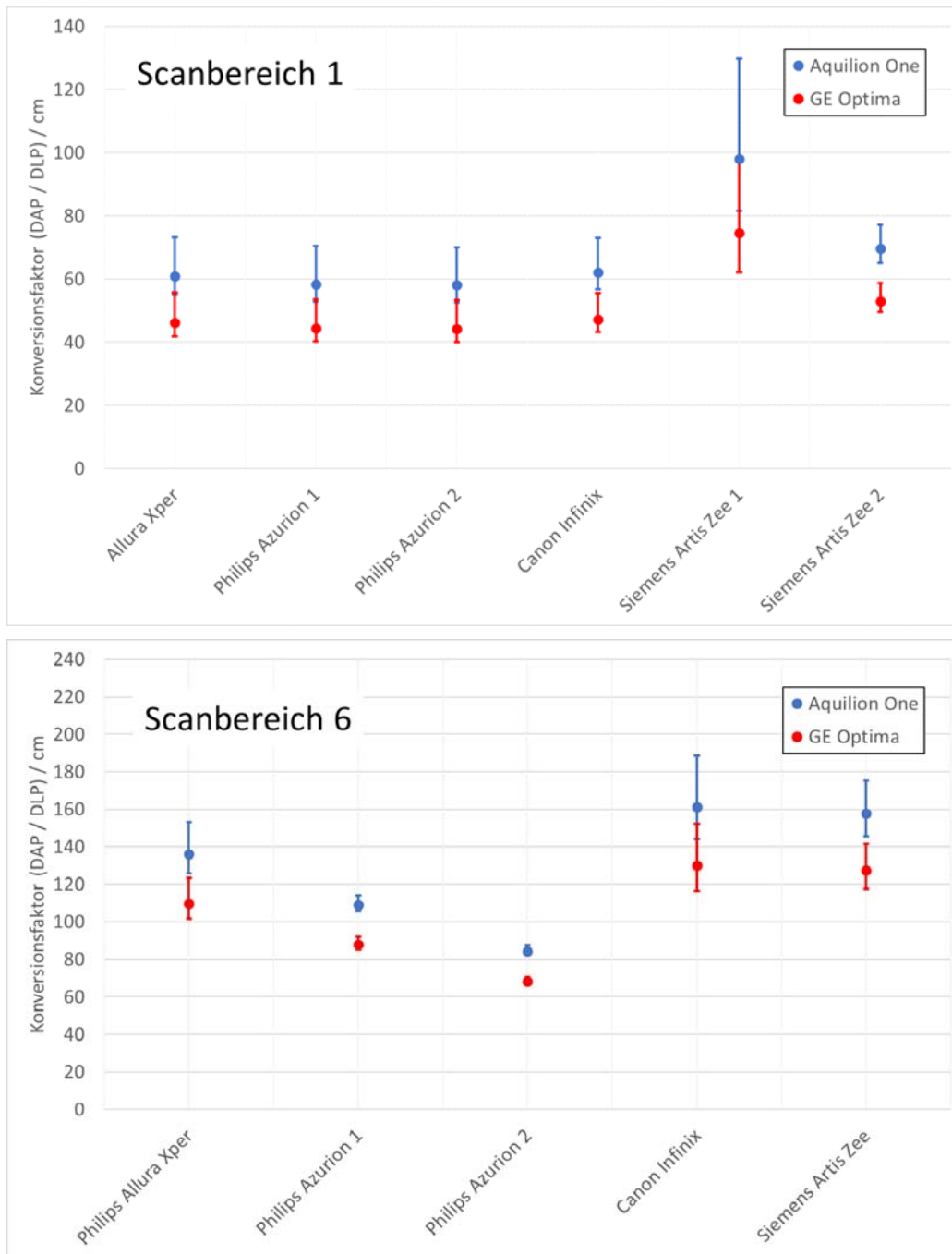


Abbildung 3: Konversionsfaktoren aus Simulationen mit der effektiven Dosis als Kopplungsgröße: Oben: Untersuchungen des Hirnschädels (Scanbereich 1); Unten: Untersuchungen des Oberbauchs (Scanbereich 6); Die Konversionsfaktoren sind für Kombinationen von CBCT-Geräten (x-Achse) und CT-Geräten (blau für Canon Aquilion One bzw. rot für GE Optima CT 660) gegeben. Die Unsicherheitsbalken ergeben sich aus der Variation der Röntgenröhrenspannung von +/- 15 kV.

Zur Festlegung von DRW in der DVT ist kein Folgeprojekt vorgesehen, sondern die Erstellung einer Norm (bereits im Rahmen vom Forschungsvorhaben 3620S42351 berücksichtigt) oder einer Leitlinie, die für alle Hersteller anwendbar ist. Wie oben beschrieben, kann dazu die Einfalldosis im Isozentrum als Dosisgröße genutzt werden (analog zu „CTDI frei Luft“ in der Computertomographie). Diese kann in Annäherung an die Prozedur in der DIN 6868-161 (für zahnärztliche DVT) gemessen oder durch eine einfache Berechnung anhand des DFP-Wertes und der Ausdehnung des Feldes ermittelt werden.

Der Forschungsnehmer beabsichtigt, die Ergebnisse des Projekts zu veröffentlichen.

2.5 Themenbereich 05
Radioökologie

2.5 *Subject area 05*
Radioecology

2.6 Themenbereich 06
Notfallschutz

2.6 *Subject area 06*
Emergency management

Thema

Integration des atmosphärischen Ausbreitungsmodells FLEXPART in RODOS zur Erweiterung der Möglichkeiten der inversen Modellierung zur Quellort- und Quelltermbestimmung auf der Grundlage von Messdaten

Subject

Integration of the atmospheric dispersion model FLEXPART into RODOS to extend the capabilities of inverse modeling for source location and source term determination based on measured data

Kennzeichen
3619S62500

Beginn
01.01.2020

Ende
31.07.2021

Fördermittel
EUR 307.197,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe

Projektleitung
W. Raskob

Fachbetreuung BfS
Dr. T. Hamburger / RN 2

verantwortlich für den Text
W. Raskob, D. Trybushnyi,
Dr. C. Staudt

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens ist die Installation von FLEXPART 10.4 sowohl als „Stand-alone“-Programm beim Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) als auch seine Integration in JRODOS¹⁾ (RODOS in der Sprechweise des BfS). Beide Realisationen sollen sowohl die normale als auch die „inverse“ Nutzung von FLEXPART erlauben.

Das Vorhaben wurde in fünf Arbeitspakete untergliedert

- Definition der benötigten Schnittstellen zwischen dem Entscheidungshilfesystem RODOS und dem atmosphärischen Ausbreitungsmodell FLEXPART (AP 1)
- Integration von FLEXPART in RODOS (AP 2)
 - Implementierungen in FLEXPART (AP 2.1)
 - Implementierungen in RODOS (AP 2.2)
 - Installation von FLEXPART als "Stand-alone"-Software (AP 2.3)
 - Integration von FLEXPART in RODOS für den operativen Betrieb (AP 2.2)
- Qualitätssicherung und Nachweis der Anwendbarkeit des integrierten Ausbreitungsmodells (AP 3)
- Erstellung eines Handbuchs zur Nutzung des integrierten Modells sowie Erarbeitung von entsprechenden Schulungsunterlagen (AP 4)
- Durchführung einer Schulung der Mitarbeiter der RODOS-Zentrale beim BfS zur Anwendung des integrierten Modells (AP 5)

2. EINZELZIELSETZUNG

Die folgenden Einzelzielsetzungen wurden für die Arbeitspakete definiert

- Hier sollen alle Schnittstellen, die für die Integration von FLEXPART in JRODOS benötigt sind, definiert und beschrieben werden. Weiterhin sollen die Datenbanken beschrieben werden, die FLEXPART benötigt (AP 1)
- Dieses Arbeitspaket beinhaltet die Erstellung und Ankopplung der in AP1 definierten Datenbanken sowie die Integration von FLEXPART in das JRODOS-System. Parallel sollte auch eine Stand-

¹⁾ Java based Realtime Online Decision Support System

alone-Version erstellt werden, die außerhalb von JRODOS, aber mit den neu erstellten Datenbasen genutzt werden konnte. Ein Schwerpunkt war die Anpassung von FLEXPART für die Nutzung der meteorologischen Vorhersagedaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD-ICON) (AP 2)

- Dieses Arbeitspaket diente zur Qualitätssicherung der entwickelten Software (AP 3)
- In AP 4 sollten die notwendigen Schulungsunterlagen erstellt werden, um dann in AP 5 diese Schulung durchzuführen (AP 4)
- Schulung der Anwender beim BfS (AP 5).

3. METHODIK

Um FLEXPART möglichst minimal zu modifizieren, wurde es nicht vollständig in den JRODOS-Rahmen integriert, sondern nur Ein- und Ausgaberroutinen entwickelt, um die notwendigen Eingabeparameter für die Modelle zu generieren. Um die Kompatibilität zu den anderen Ausbreitungsmodellen von JRODOS zu erhalten, wurden die existierenden Dosisberechnungen der integrierten Ausbreitungsmodelle genutzt. Das beinhaltet Module, die anhand der Luft- und Bodenkonzentrationen Dosen und Dosisraten berechnen. Hierzu werden auch die in der Datenbank von JRODOS hinterlegten Dosisfaktoren genutzt. Dadurch wird gewährleistet, dass die Dosisabschätzungen aller in JRODOS integrierten Simulationsmodelle konsistent sind.

Hintergrunddaten werden aus bestehenden europäischen und weltweiten Datenbanken in das erforderliche FLEXPART-Format konvertiert. Die Wetterdaten des DWD wurden untersucht um die notwendigen Änderungen in FLEXPART durchzuführen.

Die OpenMP¹⁾- und MPI (Message Passing Interface)-Parallelisierungen wurden angewendet, um die Rechenzeit zu optimieren.

Um die operationelle Nutzung des Systems sicherzustellen, wurden Testprozeduren entwickelt, die alle Aspekte der Änderungen in JRODOS berücksichtigen. Weiterhin wurde die Funktionalität in einem Trainingskurs für das BfS aufgezeigt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ARBEITSPAKET AP 1

In AP 1 werden die Hintergrund- und Wetterdaten bereitgestellt. FLEXPART benötigt - anders als alle anderen JRODOS-Ausbreitungsmodelle - Information über die Topographie. Diese wird aus den jeweils verwendeten Wetterprognosemodellen genommen. Die Landnutzung des originalen FLEXPART liegt in einer Auflösung von etwa 0,25 Grad vor. In diesem Vorhaben wurde diese durch die Information aus den beiden Datensätzen CORINE (für Europa) und Copernicus Global Landservice (für die Welt) ausgetauscht. Um die DWD-Daten in FLEXPART nutzen zu können, musste der Katalog der zu übergebenden Daten erweitert werden. Die vom DWD übermittelten Wetterdaten werden vom BfS prozessiert. Die notwendige Software wurde von KIT in Zusammenarbeit mit dem BfS erstellt und parallelisiert. Zur Dokumentation der notwendigen Schnittstellen zwischen JRODOS und FLEXPART wurden zwei interne Berichte erstellt.

4.2 ARBEITSPAKET AP 2

Nach der Definition der Schnittstellen in AP 1 wurden in AP 2 deren Umsetzung und Anpassung von FLEXPART für die Integration in JRODOS durchgeführt. Die geänderte Datenbasis (Landnutzung und ICON-Wetterdaten) nutzen sowohl die neue Stand-alone als auch die in JRODOS integrierte Version. Beide sind identisch (das gleiche Executable), nur ihre Ansteuerung ist unterschiedlich.

FLEXPART benötigt 13 Landnutzungstypen, denen eine bestimmte Rauigkeit (z_0) zugeordnet wird. In Diskussion mit dem Auftraggeber wurden die Copernicus Global Landservice (CGLS)-Daten mit 23 Land-

¹⁾ Open Multi-Processing

bedeckungstypen und einer Auflösung von 100m CGLS_LC100 und die CORINE-Landnutzungsdaten für Europa mit 43 Landnutzungstypen genutzt. Die unterschiedlichen Klassifikationen der beiden Datensätze wurden auf die 13 Klassen der FLEXPART-Implementation reduziert.

Um die DWD-ICON-Dateien in FLEXPART nutzen zu können, wurde ein Präprozessor entwickelt, der die ICON-Daten entpackt und die Niederschlagsinformation de-akkumuliert. Des Weiteren wurden die FLEXPART-Routinen, die die Wetterdaten verarbeiten, angepasst. Die Optimierung wurde als hybride Lösung mit OpenMP und MPI durchgeführt. Allerdings besteht hier noch weiterer Forschungsbedarf.

Für die Nutzung in JRODOS ist eine graphische Benutzeroberfläche (GUI) für die Eingabe von Information durch den Benutzer notwendig. Es wurde eine GUI, ähnlich der jetzigen RODOS-Lite-Oberfläche mit fünf Haupteingabe Bereichen - Anlage, Quellterm, Wetter, Lauf und Zusammenfassung - entwickelt. Speziell für FLEXPART wurden die Funktionalitäten „Rückwärtsrechnung“ und „Nuklearexplosion“ in den Anlagen-Tab aufgenommen. Die Funktionalität der Nuklearexplosion wurde zusätzlich in die Aufgabenbeschreibung aufgenommen.

FLEXPART liest seine Eingabedaten aus Datensätzen, die ASCII-formatiert sind. Diese Methode sollte auch für die in JRODOS integrierte Version beibehalten werden. Deshalb wurden Konversionsroutinen und Parser entwickelt, die alle Parameter, die für den Betrieb von FLEXPART notwendig sind, entweder an die GUI oder an JRODOS Datenbanken ankoppelt. Weiterhin wurden Erweiterungen in JRODOS entwickelt, wie z. B Rechenprogramme, die Dosisergebnisse - FLEXPART produziert nur Konzentrationen - bereitstellen, sowie Interfaces zu nachfolgenden JRODOS-Programmen und für die graphische Darstellung spezieller Ergebnisse.

Im Rahmen der Entwicklung des Prototyps wurden dem Auftraggeber mehrere Test-Versionen übergeben. Dadurch wurde gewährleistet, dass Erkenntnisse und Kommentare des Auftraggebers direkt umgesetzt werden konnten. Die weiterentwickelten Versionen wurden fortlaufend bereitgestellt und nach Vorschrift beim BfS installiert. Da FLEXPART auf Grund der GNU-Lizenz kein Bestandteil von JRODOS bei der Auslieferung sein darf, muss der Endnutzer das Modul selbständig in JRODOS integrieren. Hierzu wurde eine Anleitung entwickelt und dokumentiert.

4.3 ARBEITSPAKET AP 3

AP 3 dient zur Qualitätssicherung der entwickelten Software. Dazu wurden spezielle Tests entwickelt und mit den jeweiligen Prototypen und der finalen Version durchgeführt. Die Tests kann man in drei Klassen unterteilen:

- Test der wichtigsten Änderungen von FLEXPART, wie die Nutzung der DWD-ICON-Wetterdaten
- Funktionstests, um sicherzustellen, dass die vom Benutzer eingegebenen Parameter richtig übergeben werden und die Ergebnisse den erwarteten Modellergebnissen entsprechen
- Dokumentation der vom BfS definierten Use Cases.

Um die Nutzung der ICON-Wetterdaten des DWD zu verifizieren, wurden sogenannte Durchmischungstests durchgeführt. Funktionstests wurden durchgeführt, um zu verifizieren, dass die vom Benutzer eingegebenen Daten auch für die Rechnungen genutzt wurden. Das BfS stellte sechs Testszenarien zur Verfügung, die die operationelle Nutzung von FLEXPART beschreiben. Die erfolgreiche Durchführung dieser Tests demonstriert die Funktionalität des in JRODOS integrierten FLEXPARTs für die operationelle Nutzung am BfS.

4.4 ARBEITSPAKET AP 4

Im AP 4 wurde ein Handbuch für die Anwendung von FLEXPART in JRODOS erstellt. Es beinhaltet die Grundzüge der Installation von FLEXPART in das JRODOS-System, alle Elemente der graphischen Benutzeroberfläche sowie alle Eingabeparameter, die der Benutzer ändern kann. In AP 4 wurden auch die Schulungsmaterialien erstellt, die dann in dem Trainingskurs - AP 5 - durchgeführt wurden.

4.5 ARBEITSPAKET AP 5

Der in AP 4 geplante Trainingskurs wurde am 27.07.2021 durchgeführt. Zehn Mitarbeiter*innen des BfS nahmen an dem Kurs teil. Das Feedback der Teilnehmer*innen war durchweg positiv und alle Trainingsziele konnten erreicht werden. Mit Hilfe der erstellten Trainingsunterlagen kann der Kurs jeder-

zeit wieder durchgeführt werden, sollte es einen Bedarf dazu geben. Die Use Cases, die als Selbsttrainingsmaterial entwickelt wurden, können ebenfalls zum Training genutzt werden.

5. ERGEBNISSE

Im Folgenden wird auf die drei wichtigsten Ergebnisse wie die Integration und Test der DWD-ICON Daten, die Entwicklung der GUI und der Validierungstests näher eingegangen. Die weiteren Ergebnisse sind in der Projektdokumentation in sieben Einzelberichten einsehbar.

5.1 INTEGRATION UND TEST DER DWD-ICON DATEN

Um die ICON-Modelldaten zu nutzen, die beim DWD im Einsatz sind, war eine Anpassung von FLEXPART erforderlich. Diese Anpassung führte zur Modifikation einiger der FORTRAN-Kernroutinen von FLEXPART, insbesondere derjenigen, die die Interpolation der meteorologischen Felder auf die kartesischen, vertikalen geländefolgenden Koordinaten von FLEXPART vornehmen. Konkret handelt es sich dabei um die Routinen, die normalerweise die meteorologischen 3D-Felder des ECMWF von seiner nativen druckbasierten Modellebene auf die oben genannten vertikalen Koordinaten interpolieren. Der gewählte Ansatz basiert auf den Erfahrungen, die bei der Entwicklung der WRF-Version von FLEXPART und der AROME-Version gesammelt wurden, die sich als effektiver und minimalinvasiver Ansatz erwiesen haben. Dies passt mit dem übergeordneten Ziel des Integrationsprozesses zusammen, der darin bestand, den FLEXPART-Code so weit wie möglich in seiner ursprünglichen Form zu belassen, um die Wartung und Aktualisierung zu erleichtern, insbesondere wenn die FLEXPART Entwickler neue Versionen veröffentlichen.

Das ICON-Modell definiert die Modellebenen auf der Grundlage eines kartesischen, dem Gelände folgenden Vertikalsystems und unterscheidet sich daher von allen vertikalen Koordinatensystemen, die FLEXPART als Eingabe erwartet (die aus ECMWF-Daten oder NCEP GFS-Daten stammen). Daraufhin wurde eine spezifische vertikale Interpolation der meteorologischen Felder von ICON programmiert. Da jedoch die vertikalen ICON- und FLEXPART-Koordinaten von Natur aus ähnlich sind, ist der Fehler auf Grund der linearen Interpolation begrenzt.

Die turbulente Komponente der Partikeltrajektorien in FLEXPART ist sensitiv hinsichtlich der verwendeten meteorologischen Eingangsfelder. Deshalb wurden Tests durchgeführt, ob die modifizierten FLEXPART Routinen den Anforderungen genügten. Abbildung 1 zeigt den Test der neuen (FLEXPART ICON) mit der bestehenden (FLEXPART ECMWF) Modellierung. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung. Ähnliche Tests wurden auch für Turbulenzschemata mit und ohne der Turbulenten Kinetischen Energie durchgeführt. Alle Tests haben gezeigt, dass die gewählte Parametrisierung mit den DWD-ICON-Daten genutzt werden kann.

5.2 GRAPHISCHE BENUTZEROBERFLÄCHE (GUI) UND ERGEBNISSE

FLEXPART benutzt eine modifizierte Version der RODOS-Lite-Benutzeroberfläche, wie sie auch in der Local Scale Model Chain (LSMC) oder der EMERGENCY-Modellkette verwendet wird. Die Dateneingabe für die "Anlage-", "Quellterm"-, "Wetter"-, "Lauf"- und "Zusammenfassung"-Registrierkarten ähneln der bisherigen JRODOS-Version. Damit wurde ein "look and feel" erzeugt, das die Nutzung des neuen Modells vereinfacht. Abbildung 2 zeigt die Zusammenfassung. Dort sind alle anderen Eingaben als erfolgreich „grüner Haken“ dargestellt.

Speziell für FLEXPART wurden Ergebnisse der sogenannten Rezeptor-Matrix generiert und gespeichert. Dies ist in Abbildung 3 zu sehen. Mittels der farblichen Darstellung der Rezeptor-Matrix können erste Rückschlüsse über die Wahrscheinlichkeit möglicher Freisetzungsorte gezogen werden.

5.3 TESTS

Generalisierte Tests wurden für die Bereiche Projekterstellung, Projektlauf, Speicherung, Re-initialisierung und alle Registerkarten erstellt. Tests wurden über Schlagwörter wie Name, Testverlauf und Testergebnis in einer Testdatenbank eingetragen und ausgewertet. Insgesamt wurden mehr als 100 Szenarien definiert und durchgerechnet.

Abbildung 1: Vergleich der FLEXPART ICON- und ECMWF-Versionen für den gut durchmischten Kriteriumstest; 3-D Windfeld (Rot und Blau zeigen Abweichungen, Weiß die volle Übereinstimmung).

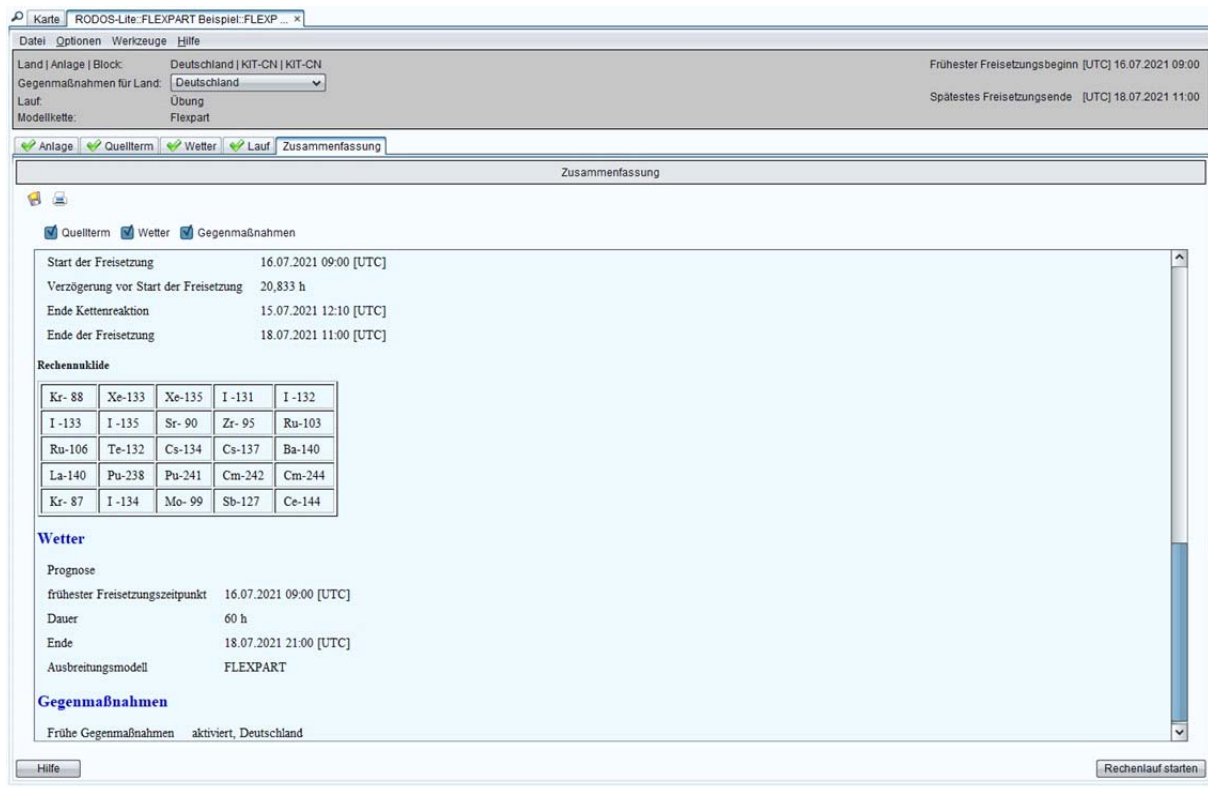


Abbildung 2: Registrierkarte „Zusammenfassung“

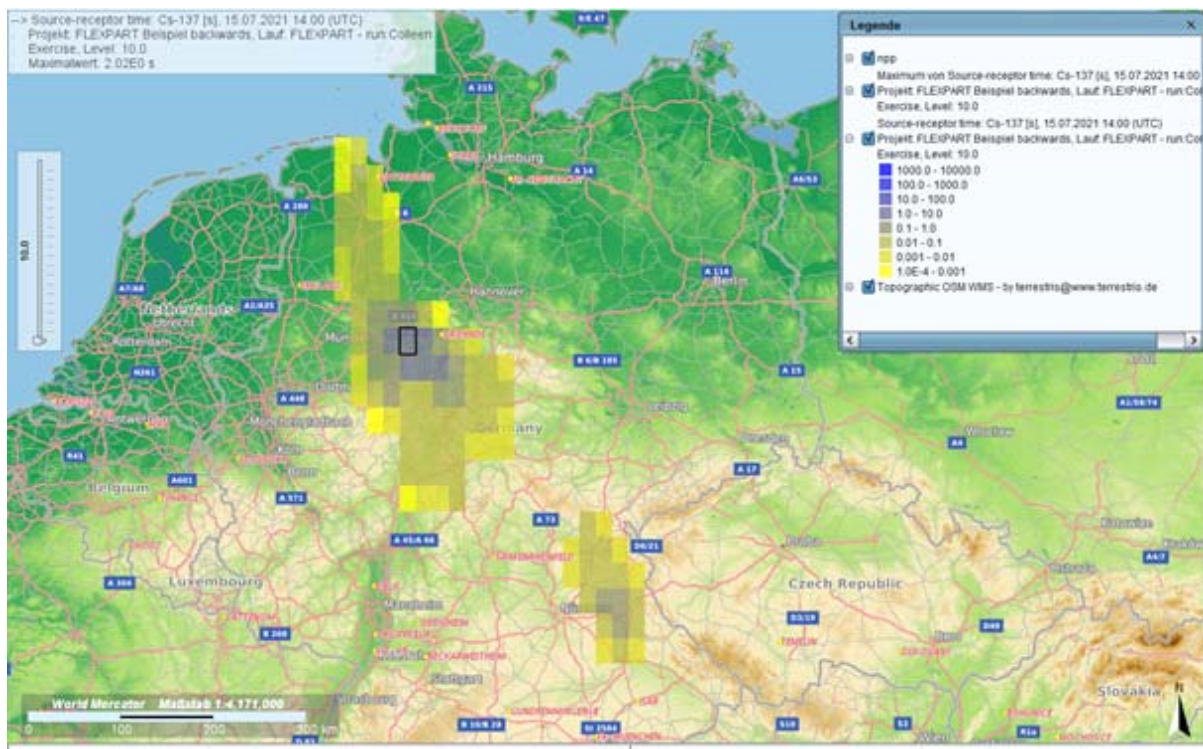


Abbildung 3: Ergebnis eines Rückwärtslaufs "Source-Receptor Time [s]"

TB 06
Ergebnisse

Vom BfS wurden sechs Tests mit der folgenden Testbeschreibung zur Verfügung gestellt und durchgerechnet

- Szenario 1: Unfall in einem deutschen Kernkraftwerk (reduzierter FKA)
- Szenario 2: Unfall in einem Kernkraftwerk im grenznahen Ausland (reduzierter FKA)
- Szenario 3: Unfall in einem Kernkraftwerk im übrigen Europa (reduzierter FKA)
- Szenario 4: Quelltermbestimmung bei bekanntem Freisetzungsort (mehrfache Vorwärtsrechnungen)
- Szenario 5: Quellortbestimmung (mehrfache Rückwärtsrechnungen)
- Szenario 6: Nuklearexplosion

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen Ergebnisse für das Szenario 3 mit einem Unfall im grenznahen Ausland. Die FLEXPART-Ergebnisse wurden mit LASAT, dem vom BfS hauptsächlich genutzten Ausbreitungsmodell des JRODOS-Systems, verglichen.

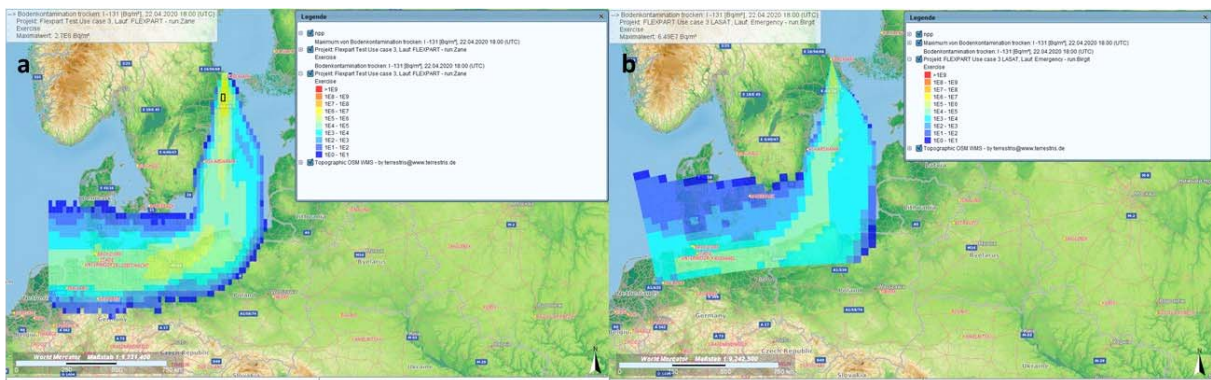


Abbildung 4: a) trockene Bodenkontamination I-131 FLEXPART, b) trockene Bodenkontamination I-131 LASAT

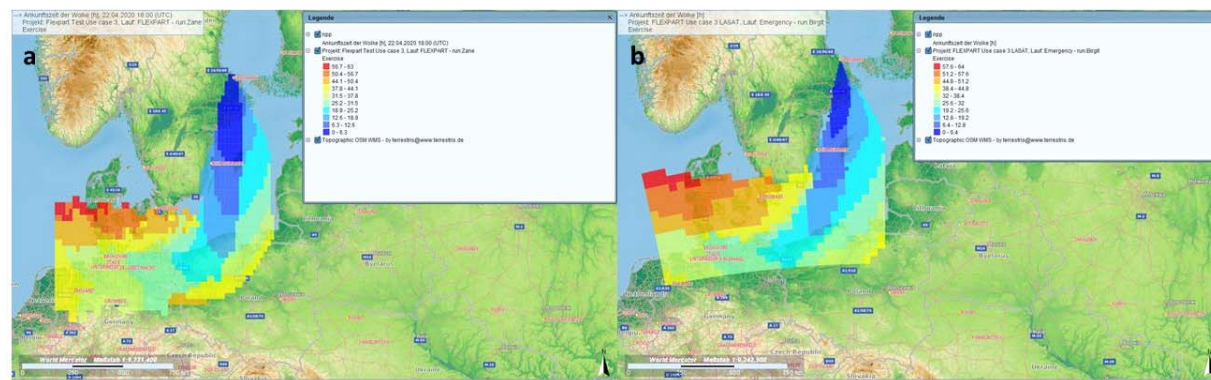
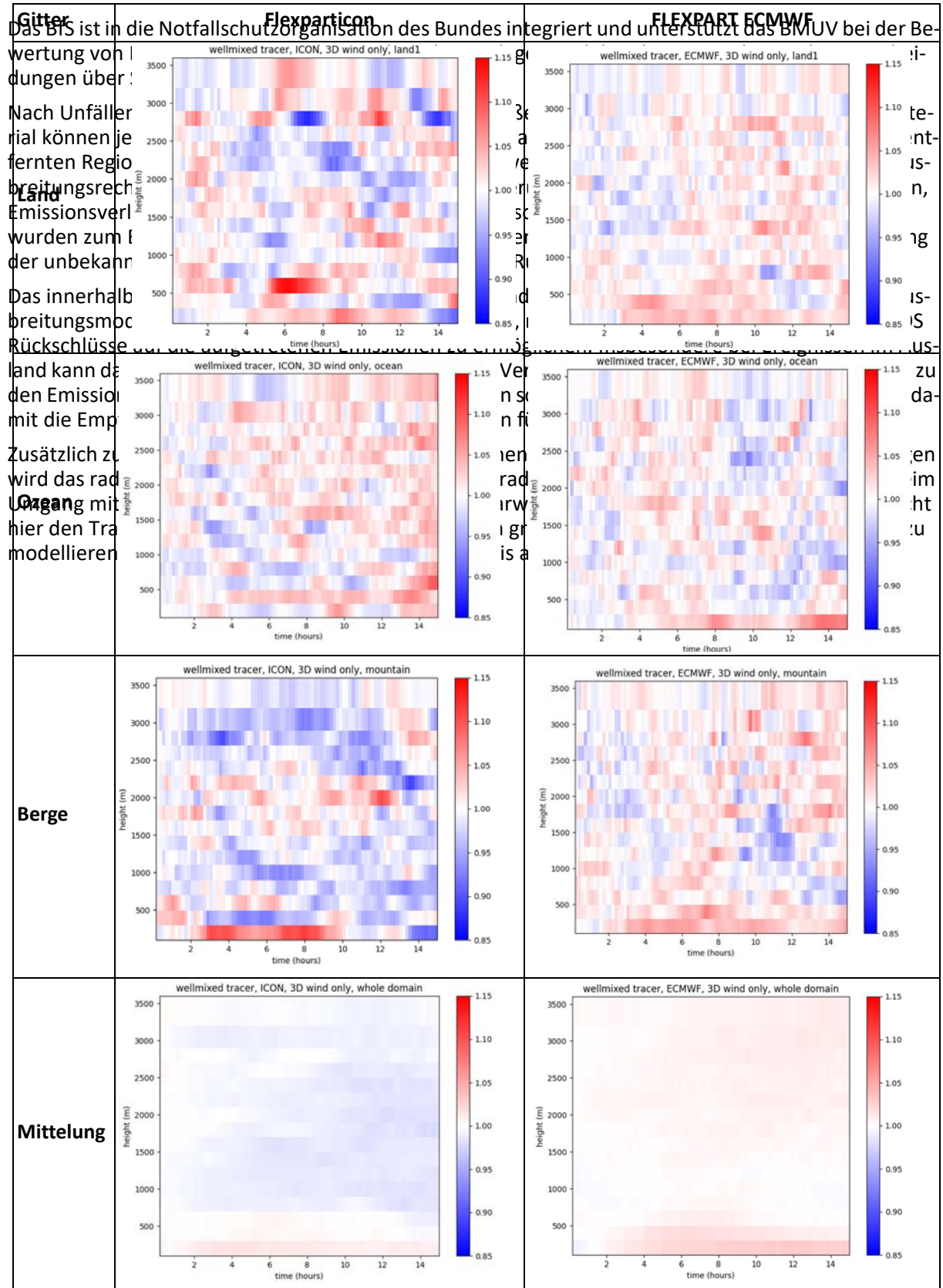


Abbildung 5: a) Wolkenankunftszeit FLEXPART, b) Wolkenankunftszeit LASAT

Der Vergleich von FLEXPART mit den in JRODOS integrierten Ausbreitungsmodellen RIMPUFF, DIPCOT und LASAT wird im Rahmen weiterer Aktivitäten des KIT im Jahr 2022 noch weiter durchgeführt. Dazu ist eine Publikation in Planung.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE



TB 06
Ergebnisse

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

23.01.2020

Ende

23.07.2021

Fördermittel

EUR 261.741,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Mesh & Moser Situation Management (Mag. Patrick Meschenmoser), Wien

Projektleitung

P. Meschenmoser

Fachbetreuung BfS

C. Pözl-Viol / St-RK

verantwortlich für den Text

C. Pözl-Viol

1. ZIELSETZUNG

Im Fall eines überregionalen radiologischen Notfalls richtet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) gemäß Strahlenschutzgesetz (StrlSchG, § 106 und § 108) ein radiologisches Lagezentrum des Bundes (RLZ) ein. Das RLZ hat unter anderem die Aufgabe, das radiologische Lagebild (RLB) zu erstellen (§ 106 StrlSchG). Das RLB bildet für Bundes-, Landes- und Katastrophenschutzbehörden die radiologische Grundlage zur Einschätzung und Bewältigung eines radiologischen Notfalls und wird dabei von radiologischen Experten und Laien gleichermaßen genutzt.

Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens war es, das radiologische Lagebild auf seine Nutzbarkeit für diesen heterogenen Empfängerkreis zu überprüfen und, basierend auf den existierenden technischen Voraussetzungen, zu verbessern. Dabei sollte auch die Nutzbarkeit der Lagebildinformationen für die Krisenkommunikation durch Vertreter*innen der Öffentlichkeitsarbeit betrachtet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zur Erreichung der Zielsetzung wurde das Forschungsvorhaben in vier Arbeitspakete (AP) unterteilt.

2.1 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Ziel des AP 1 war es, den aktuellen Wissensstand hinsichtlich der effektiven Lagedarstellung in radiologischen Notfällen zu erheben. So sollten erste Optimierungsansätze und Ansatzpunkte für die empirische Analyse in AP 2 identifiziert werden.

2.2 EMPIRISCHE ERMITTLUNG DER ANWENDBARKEIT DES RADIOLOGISCHEN LAGEBILDES (AP 2)

Im zweiten Arbeitspaket sollte vornehmlich die Frage geklärt werden, ob das derzeitige radiologische Lagebild (RLBalt) für unterschiedlichste Empfänger*innen inhaltlich und in seiner Darstellung verständlich ist und welche weiteren Inhalte, Anweisungen, Hilfestellungen oder Änderungen für die effektive Verwendung der Lagebildinformationen nötig sind.

2.3 ERARBEITUNG VON VORSCHLÄGEN ZUR UMGESTALTUNG DES RADIOLOGISCHEN LAGEBILDES (AP 3)

Im AP 3 sollten die Erkenntnisse und abgeleiteten Empfehlungen aus den beiden vorherigen Arbeitspaketen umgesetzt und auf Basis der vom Auftraggeber vorgegebenen technologischen Grundlage ein verbessertes RLB (RLBneu) erstellt werden.

2.4 ÜBERPRÜFUNG DER EFFEKTIVITÄT DER ÜBERARBEITUNG DURCH EMPIRISCHE KONTROLLE UND SIMULATION (AP 4)

Schlussendlich sollten die im AP 3 vorgenommenen Änderungen auf ihre Effektivität überprüft und, wo nötig, letzte Anpassungen vorgenommen werden. Am Ende des Projektes sollte ein Vorschlag für die Neugestaltung des RLB stehen.

3. METHODIK

3.1 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Um im AP 1 eine möglichst effektive Zusammenstellung der wissenschaftlichen Grundlagen für dieses Forschungsvorhaben zu gewährleisten, wurde ein Methodenmix für die Recherche angewendet. Zunächst wurde eine Desktop- und Onlinerecherche, aufbauend auf dem Wissensstand und der Expertise von Auftraggeber und Projektteam, durchgeführt und so erste relevante Literatur identifiziert. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse dienten als Grundlage und lieferten Stichworte für eine Recherche in den wissenschaftlichen Datenbanken Web of Science und SCOPUS. Ergänzend wurde Google Scholar durchsucht, um auf die dort zahlreich gelistete graue Literatur Zugriff zu erlangen, die im Bereich hochspezialisierter und regulativer Themen eine wertvolle Quelle sein kann. Auf Grund ihres fachspezifischen Fokus wurde auch die IAEO-Datenbank INIS abgefragt. Ergänzt wurde die Recherche durch Interviews mit ausgewählten Expert*innen, deren Spezialisierung das Erkenntnisinteresse und die Ziele des AP 1 unterstützte. Die Interviews dienten in erster Linie zur Klärung in der Literaturrecherche aufgetauchter Fragen, der Vervollständigung der Erkenntnisse, der Berücksichtigung von Aspekten der praktischen Anwendung und, insbesondere hinsichtlich gegenwärtiger Diskussionen, dem Lückenschluss.

3.2 EMPIRISCHE ERMITTLUNG DER ANWENDBARKEIT DES RADIOLOGISCHEN LAGEBILDES (AP 2)

Im AP 2 wurden leitfadengestützte Interviews durchgeführt, um die Effektivität des RLBalt abzufragen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Auswahl der Interviewpartner*innen durch den Auftraggeber so erfolgte, dass sie einen Querschnitt der Nutzergruppen des RLB repräsentierte.

Die Befragung wurde so durchgeführt, dass die Anwendungssituation des radiologischen Lagebilds im Notfall so realistisch wie möglich nachgestellt wurde. So wurden den Befragten erst 90 Minuten vor dem vereinbarten Interviewtermin drei Beispiellagebilder per E-Mail zugesendet, die drei Stadien eines radiologischen Notfalls darstellten. So sollte der Zeitdruck in einer realen Lage simuliert werden. Den Interviews lag ein strukturierter Interviewleitfaden mit Fragen zu Verständlichkeit, Struktur, Darstellung und Vollständigkeit zu Grunde. Am Ende der Gespräche wurden die Einschätzungen zur Gesamtzufriedenheit mit dem RLBalt abgefragt.

3.3 ÜBERPRÜFUNG DER EFFEKTIVITÄT DER ÜBERARBEITUNG DURCH EMPIRISCHE KONTROLLE UND SIMULATION (AP 4)

Im Rahmen einer zweiten Interviewreihe wurden ausgewählte Interviewpartner*innen zu einer erneuten Befragung eingeladen. Diesen wurde das radiologische Lagebild in seiner überarbeiteten Form (RLBneu) vorgelegt, um die Effektivität der vorgenommenen Änderungen zu testen. Dabei wurde darauf geachtet, die Interviewpartner*innen so zu wählen, dass der Proporz, der im Rahmen des AP 2 repräsentierten Nutzergruppen des RLB, so weit wie möglich erhalten blieb.

Den Interviews lag wieder ein strukturierter Leitfaden zu Grunde, der sich an dem der ersten Interviewreihe orientierte.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 EMPIRISCHE ERMITTLUNG DER ANWENDBARKEIT DES RADIOLOGISCHEN LAGEBILDES (AP 2)

Alle Interviews wurden aufgezeichnet und im Anschluss mit der Transkriptionssoftware f4transkript verschriftlicht. Die Analyse des Interviewmaterials erfolgte mit der Textanalysesoftware ATLAS.ti 8, die

eine umfangreiche Bearbeitung der Daten nach aktuellem sozialwissenschaftlichem Standard ermöglicht und mittels Codierungen und Auswertungsschemata die anschließende Analyse und die Kategorisierung der Interviewergebnisse ermöglichte. Methodisch kam schließlich die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring zur Anwendung.

Allen Interviews lag ein Datenschutzkonzept zu Verarbeitung und Schutz personenbezogener Daten und Interviewinhalte zu Grunde.

4.2 ERARBEITUNG VON VORSCHLÄGEN ZUR UMGESTALTUNG DES RADIOLOGISCHEN LAGEBILDES (AP 3)

Im AP 3 wurden die Erkenntnisse und abgeleiteten Empfehlungen aus den vorigen beiden Arbeitspaketen priorisiert und anhand der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Vorlagen und auf Basis der vorgegebenen technologischen Grundlage im RLBneu umgesetzt.

Ein auf Basis des RLBneu erstelltes Testlagebild bildete die Grundlage für die Überprüfung der Effektivität der vorgeschlagenen Änderungen, Kürzungen und Ergänzungen im AP 4.

4.3 ÜBERPRÜFUNG DER EFFEKTIVITÄT DER ÜBERARBEITUNG DURCH EMPIRISCHE KONTROLLE UND SIMULATION (AP 4)

Den Befragten wurden nun beide Lagebildversionen (RLBalt und RLBneu) vorgelegt, um einen eingehenden Vergleich zu ermöglichen. Das zentrale Anliegen war, die vorgenommenen Änderungen im Hinblick auf Verständlichkeit, Nutzbarkeit und allgemeine Zufriedenheit zu überprüfen und gegebenenfalls weitere wichtige Hinweise zur Verbesserung zu erheben. Auch in der zweiten Interviewrunde wurde wiederum abschließend die Gesamtzufriedenheit mit dem RLBneu erhoben.

Alle Interviews wurden unter Nutzung derselben Methoden und Hilfsmittel analog zu AP 2 aufgezeichnet, transkribiert, codiert und ausgewertet.

Nach einer weiteren Überarbeitung des RLBneu wurde dieses in einem eintägigen Plangespräch unter Teilnahme von Vertreter*innen von Bund und Ländern erneut getestet. Schließlich wurden die Ergebnisse mit dem Auftraggeber analysiert und diskutiert und letzte Änderungspunkte für das finale RLBneu abgeleitet.

5. ERGEBNISSE

5.1 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Wenig überraschend ergab die Literaturrecherche im AP 1, dass bislang keine systematische, wissenschaftliche Erforschung der Effektivität eines so spezifischen Arbeitsmittels, wie es ein radiologisches Lagebild darstellt, stattgefunden hat. Wertvolle Erkenntnisse konnten dagegen aus der in unterschiedlicher Ausprägung vorhandenen Literatur zu operativ-taktischen Lagebildern und den relevanten Teilaspekten wie etwa der effektiven Darstellung von Text- und Bildinformationen, Kartendarstellungen, Farbwahrnehmung sowie zu Risiko- und Krisenkommunikation gewonnen werden.

Umso hilfreicher waren daher auch Richtlinien und graue Literatur von Institutionen und Organisationen, die sich explizit mit der Bewältigung radiologischer Notfälle befassen. Hier sei insbesondere die Strahlenschutzkommission, die Internationale Atomenergieorganisation oder die OECD genannt.

Als besonders aufschlussreich erwiesen sich die Interviews mit Expert*innen, auf Grund deren Erfahrungen im Umgang mit Informationen in Stresssituationen, mit Lagebildern im allgemeinen, aber auch mit radiologischen Lagebildern.

Insgesamt ergab die Recherche im AP 1 daher durchaus Ansatzpunkte für mögliche Optimierungen des RLBalt, die sowohl für die Interviews im AP 2 als auch die erste Erstellung des RLBneu im AP 3 genutzt werden konnten.

5.2 ERGEBNISSE DER EMPIRISCHEN UNTERSUCHUNGEN

Die erste Interviewreihe im AP 2 ergab bereits eine sehr hohe Gesamtzufriedenheit mit dem RLBalt. Insbesondere radiologische Experten, die bereits seit längerer Zeit Erfahrung im Umgang mit dem Lagebild gesammelt hatten, zeigten sich gerade mit der Gliederung des Lagebildes durchaus zufrieden. Dennoch konnte erhebliches Verbesserungspotenzial identifiziert werden. Radiologische Laien, und hier insbesondere Vertreter*innen aus dem Bereich Öffentlichkeitsarbeit, kritisierten stark die mangelnde Verständlichkeit der im RLBalt dargestellten Informationen. Als Gründe dafür wurden neben der Verwendung von technischem Fachvokabular, Abkürzungen und Einheiten auch das Fehlen eines Gesamtüberblicks genannt, der auch Anwender*innen ohne tiefere radiologische Kenntnisse schnell einen Eindruck von der Lage vermitteln könnte.

Aus der Diskrepanz von hoher Zufriedenheit auf der einen und deutlichen Verbesserungsbedarfs auf der anderen Seite, leitete das Projektteam für die weiteren Arbeiten den Grundsatz ab, im RLBneu Bewährtes zu bewahren und Neues zu implementieren.

In der zweiten Interviewrunde zeigte sich der Erfolg dieses Ansatzes, da die Befragten eine hohe Zufriedenheit mit den vorgenommenen Optimierungen und dem RLBneu äußerten. Durch die Beibehaltung bewährter Elemente aus dem bereits zuvor gut bewerteten RLBalt, konnte eine Akzeptanz von Neuerungen auch bei denjenigen Nutzer*innen erzielt werden, die zunächst keine größeren Veränderungen für nötig erachtet hatten. Hierzu trug auch das Verständnis praktisch aller Befragten dazu bei, dass das RLB die Anforderungen eines sehr heterogenen Nutzerkreises zu erfüllen hat.

Das abschließende Plangespräch ergab nur noch einzelne Verbesserungsmöglichkeiten. Diese wurden zuletzt in den finalen Gestaltungsvorschlag eingearbeitet, der anhand eines Beispielszenarios das Verbesserungspotenzial des RLBalt hinsichtlich Struktur, Inhalt, Darstellung und Verständlichkeit aufzeigt und eine Vorlage für ein RLBneu darstellt.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse fließen direkt in die rezipientenorientierte Weiterentwicklung des radiologischen Lagebildes ein. Mit diesem Forschungsvorhaben wurde ein signifikanter Beitrag dazu geleistet, dass die Informationen zur radiologischen Lage schnell und eindeutig an die relevanten, heterogenen Nutzergruppen des RLB vermittelt werden können. Insbesondere tragen dazu die wesentlichen Änderungen im Layout bei. Eine übersichtlichere und einheitlichere Strukturierung der Inhalte ermöglicht es auch wenig geübten Nutzer*innen des RLB, sich schnell zurecht zu finden. Die verschiedenen Kartendarstellungen im RLB wurden soweit wie möglich vereinheitlicht und überflüssige Informationen entfernt. Eine schnellere Fokussierung auf das Wesentliche wird dadurch möglich. Die Vorschläge wurden basierend auf der Ermittlung von Wissenschaft und Technik des AP 1 abgeleitet.

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

06.11.2019

Ende

15.10.2021

Fördermittel

EUR 231.415,-

Forschungs- / Auftragnehmer

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

Projektleitung

Dr. S. Holbein

Fachbetreuung BfS

Dr. J. Weismüller/ RN 2

verantwortlich für den Text

Dr. S. Holbein, Dr. E. Mühr-Ebert,
Dr. J. Weismüller

1. ZIELSETZUNG

Gemäß den Anforderungen des Strahlenschutzgesetzes (§ 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, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) geleiteten Radiologischen Lagezentrum 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 BMUV/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 wurden in dem vorliegenden Vorhaben fortgesetzt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben war in fünf Arbeitspakete (AP) unterteilt. Im Rahmen des AP 1 wurden auf Basis von bereits vorliegenden Untersuchungen auf dem Gebiet der schweren auslegungsüberschreitenden Störfälle Analysen zum radiologischen Gefährdungspotenzial bei möglichen massiven Freisetzen mit großflächiger Kontamination durchgeführt. Aufbauend auf diesen Untersuchungen wurde im AP 2 die Übungsdokumentation für eine RLZ-Übung erstellt. Weiterhin wurden im Rahmen des AP 3 mögliche anlagenexterne Gefährdungspotentiale für einen Forschungsreaktor anhand vorhandener Quelltermabschätzungen analysiert. Aufbauend auf diesen Untersuchungen wurde im AP 4 die Übungsdokumentation für eine weitere Notfallübung erstellt. Die Unterstützung bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von RLZ-Notfallübungen auf der Basis der in diesem Vorhaben erarbeiteten Übungsdrehbücher wurde im Rahmen des AP 5 geleistet.

3. METHODIK

Je nach AP wurden unterschiedliche Methodiken angewendet. AP 1 und AP 3 beinhalteten eine umfangreiche Fachliteraturrecherche in Bezug auf mögliche Ereignisabläufe sowie deren Analyse im Hinblick auf die Anforderungen an die RLZ-Notfallorganisation. Ebenso wurden die neuen Erkenntnisse in-

nerhalb des Vorhabens aufbereitet. Aus den Erkenntnissen zu den untersuchten Ereignisabläufen werden Übungsszenarien sowie die darauf aufbauende Übungsdokumentation erstellt (AP 2 und AP 4). Diese beinhalteten die zeitliche Entwicklung von Anlagenparametern, Angaben zu möglichen Quelltermen, Meldeformulare des Betreibers sowie ein zeitlicher Ablauf der zu erwartenden Ereignisse sämtlicher Übungsteilnehmer (Übungsdrehbuch). Die in AP 5 zu leistende Unterstützung bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von Notfallübungen umfasste die Teilnahme und Durchführung von Vorbesprechungen und Abstimmungsbesprechungen, die Durchführung von Übungsbriefings, die Wahrnehmung von Regie- und Beobachtungsaufgaben während der Übung sowie Mitarbeit bei der Erstellung der Übungsberichte. Darüber hinaus erfolgte die aktive Teilnahme des GRS Notfallzentrums bei den Übungen zur Unterstützung der Kopfstelle des RLZ.

4. DURCHFÜHRUNG

Auf Grund der Einschränkungen infolge der Corona-Pandemie ist es zu einer Verschiebung des RLZ-Übungsprogramms gekommen, was eine Anpassung des Arbeitsprogramms erforderlich machte.

Im AP 1 erfolgte die Erstellung der Übungsdokumentation für die RLZ-Übung CORE 2021, die in Zusammenarbeit mit Landesbehörden Niedersachsens durchgeführt wurde. Für die Notfallübung wurden ein Übungsszenario und ein Übungsdrehbuch erstellt.

Im AP 2 erfolgten Arbeiten zur Vorbereitung einer Planbesprechung zur Krisenkommunikation im RLZ zum Training der RLZ-Stabs Kommunikation (Stab K). Die Inhalte umfassten dabei insbesondere die Arbeitsabläufe innerhalb des RLZ und die Inhalte des Radiologischen Lagebilds.

Die Arbeiten in den AP 3 und 4 erfolgten wie geplant (siehe Punkte 2 und 3).

Im AP 5 erfolgte die Vorbereitung, Begleitung und Auswertung der Planbesprechung für den Stab K des RLZ sowie die Vorbereitung der Notfallübung CORE 2021. Darüber hinaus erfolgte die Unterstützung bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung des im Dezember 2020 durchgeführten Kommunikations- und Techniktests „Kommunikationsübung 2020“. Das GRS Notfallzentrum war als Teil des RLZ aktiv an dem Test beteiligt. Außerdem wurde die Erstellung des Auswertebereichs unterstützt, in dem insbesondere die Erkenntnisse des Tests aufgeführt wurden.

5. ERGEBNISSE

Im Rahmen des Vorhabens wurden in allen APs Ergebnisse erzielt. Im AP 1 wurden Vorträge für eine Planbesprechung zur Krisenkommunikation im RLZ erstellt. Im AP 2 wurde die Übungsdokumentation für die Kommunikationsübung 2020 erstellt. Im AP 3 wurde ein Bericht zu Ereignisabläufen in Forschungsreaktoren mit Relevanz für die Notfallplanungen des RLZ erstellt. Im AP 4 wurde die Übungsdokumentation für die Notfallübung CORE-2022 an einem Forschungsreaktor erstellt. Im AP 5 erfolgten die Begleitung der Planbesprechung zur Krisenkommunikation im RLZ sowie die Unterstützung bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung des Kommunikations- und Techniktests „Kommunikationsübung 2020“.

5.1 ANALYSE VON EREIGNISABLÄUFEN IN FORSCHUNGSREAKTOREN

Im Rahmen des Vorhabens wurden grundlegende Ergebnisse der Analyse von Ereignisabläufen in Forschungsreaktoren zusammengetragen. Ziel der Analyse war die Erarbeitung eines Vorschlags für ein Übungsszenarios als Diskussionsgrundlage für eine Bund-Länder-Notfallübung.

Dazu wurden verfügbare Berichte zu Ereignisabläufen in Forschungsreaktoren gesammelt und ausgewertet. Dies geschah mit Schwerpunkt auf die Anlage FRM-II in Garching. Die im Rahmen des Vorhabens betrachteten postulierten Ereignisse sind eine Kühlkanalblockade, eine zusätzliche Reaktivitätseinbringung, ein externer Stromausfall oder ein Kühlmittelverluststörfall. Vorkommnisse in Forschungsreaktoren haben auf Grund des erheblich geringeren Nuklidinventars (kleinere Quellterme) im Vergleich zu Leistungsreaktoren und auf Grund der kleineren maximal möglichen Kerntemperaturen einen geringeren Unfallumfang. Als relevant für potenzielle Unfallbetrachtungen gelten jedoch die in manchen Forschungsreaktoren eigenen Arbeitsmodi, zu denen die Änderung der Kerngeometrie zu Ex-

perimentierzwecken, kürzere Arbeitszyklen zwischen Abschaltung und Experimenten oder direkte Eingriffe nahe dem Reaktorkern gezählt werden können. Details zum Unfallszenario werden vom Betreiber gestellt.

5.2 PLANBESPRECHUNG FÜR DEN STAB K DER KOPFSTELLE DES RLZ

Im Vorhabenzeitraum wurde der Stab K als Teil der Kopfstelle des RLZ eingeführt, um insbesondere der Erfüllung der Vorgaben gemäß § 112 StrlSchG Folge zu tragen. Für die Bestimmung des Aufgabenbereichs, der Arbeitsweise des Stab K und insbesondere der Integration in die Arbeitsstruktur des RLZ wurden zwei Arbeitsgruppen gebildet. Die in den Arbeitsgruppen erstellten Vorschläge sollten im Rahmen einer Planbesprechung überprüft werden.

Die Planbesprechung wurde am 8. September 2020 durchgeführt und dabei der grundlegende Ablauf einer RLZ-Notfallübung demonstriert sowie Überlegungen zu Aufgaben und zur Zusammensetzung des Stabes K vorgenommen. Die Vorbereitung und Durchführung der Besprechung wurden im Rahmen dieses Vorhabens maßgeblich unterstützt.

Im Teil 1 der Planbesprechung wurden die Grundlagen zum Aufbau und zur Arbeitsweise des RLZ sowie die Aufgaben des Stabes K in Bezug auf die gesetzlichen Vorgaben gemäß § 112 StrlSchG vorgestellt. Außerdem wurden Inhalt und Struktur des Berichts zum Anlagenzustand des GRS Notfallzentrums sowie des Radiologischen Lagebilds vorgestellt. Zuletzt erfolgten eine Vorstellung zu Erfahrungen aus Ereignissen und Übungen sowie internationale Empfehlungen in Bezug auf Presse- und Öffentlichkeitsarbeit.

Im Teil 2 der Veranstaltung folgte die Planbesprechung auf der Basis archivierter Übungsunterlagen der Notfallübung CORE 2019 mit folgenden Inhalten:

- Chronologische Vorstellung ausgewählter Meldungen bei der Notfallübung CORE 2019
- Identifizierung relevanter Ereignisse im Ereignisablauf (z. B. Freisetzungsprognose, Freisetzungsphase, Nachfreisetzung);
- Darstellung der Aufgabenfelder und Prüfung der Ablaufvorschläge für Stab K.

Die Veranstaltung konnte erfolgreich dafür genutzt werden, die zuvor definierten Aufgaben und die Arbeitsstruktur des Stabes K zu überprüfen und zu überarbeiten. Der Stab K der Kopfstelle des RLZ am BMUV hat seitdem an zwei Notfallübungen des RLZ teilgenommen, die in den folgenden Kapiteln vorgestellt werden.

5.3 KOMMUNIKATIONSÜBUNG 2020

Das primäre Ziel der Übung war, die Stabsarbeit des Radiologischen Lagezentrums des Bundes unter den schwierigen Randbedingungen einer Pandemie zu erproben. Zur Einsatzfähigkeit des RLZ unter Pandemiebedingungen wurde ein betriebliches Konzept entwickelt, das eine „Virtualisierung des RLZ“ vorsieht. Das Konzept sieht einen Betrieb mit eingeschränkter Nutzung der Stabsräume und ein Arbeiten der Mitarbeiter in Einzelbüros vor. Während der Übung wurde auch die Möglichkeit genutzt, vom Homeoffice aus an der Übung aktiv teilzunehmen. Stabsinterne Kommunikation und Stabsleitersitzungen wurden mit Hilfe von Telefon- und Videokonferenzsystemen realisiert.

Sowohl das Betriebskonzept des RLZ in Pandemiezeiten als auch das Equipment und dessen Handhabung wurden während der Übung erfolgreich erprobt und haben sich bewährt. Des Weiteren wurde gezeigt, dass unter Einhaltung der Hygiene-Konzepte in den RLZ-Stellen BMUV, BfS und GRS eine Lagebewertung bei einem radiologisch signifikanten Ereignis auch unter Pandemie-Bedingungen erfolgreich realisiert werden kann. Die Einsatz- und Arbeitsfähigkeit einzelner Fachstäbe innerhalb der RLZ-Kopfstelle beim BMUV, im BfS und bei der GRS sowie deren Zusammenwirken bei der Lagebewertung auf der Bundesebene konnten erprobt und nachgewiesen werden. Die vorbereiteten Konzepte und die Nutzung der Homeoffice-Möglichkeiten wurden als gelungen und wirksam bestätigt. Die Teilnahme des Stabes K hat wertvolle Impulse für eine weitere Einbindung dieser wichtigen RLZ-Einheit geliefert, die nun umgesetzt werden. Die in jeder RLZ-Einheit festgestellten Verbesserungspotentiale, v. a. technischer Art, werden zeitnah umgesetzt.

Die Ergebnisse des Tests sind nicht nur im Hinblick auf die besonderen Pandemie-Rahmenbedingungen wertvoll, sondern bilden eine gute Basis für eine Weiterentwicklung des Radiologischen Lagezentrums

unter Berücksichtigung der notwendigen engen Zusammenarbeit der RLZ-Einheiten an unterschiedlichen Standorten unter Verwendung geeigneter technischer Kommunikationssysteme.

Es hat sich gezeigt, dass trotz des erfolgreichen Tests eines virtualisierten RLZ diese Form der Zusammenarbeit lediglich als Ersatz für eine Stabsarbeit in Präsenz in den Stabsräumen der RLZ-Kopfstelle gesehen werden kann, wenn Maßnahmen zum Schutz der Mitarbeiter vor Infektion dies erforderlich machen. Eine virtualisierte Stabsarbeit kann eine physische Zusammenarbeit in den Stäben nicht gleichwertig ersetzen, da trotz vieler technischer Möglichkeiten insbesondere die Kommunikation innerhalb der Stäbe unter Stress und Zeitdruck eingeschränkt ist. Die Gewährleistung redundanter Kommunikationswege stellt zudem eine große Herausforderung dar. Insofern sollte in Zukunft nur in Ausnahmesituationen, wie in einer Pandemie, auf ein „virtuelles RLZ“ zurückgegriffen werden.

5.4 NOTFALLÜBUNG CORE 2021

Der Tag 1 der Notfallübung CORE 2021 konnte erfolgreich dazu genutzt werden, die radiologische Lagebewertung bei einem simulierten überregionalen schweren Störfall im deutschen KKW zu testen. Dabei wurden die Zusammenarbeit des RLZ mit den zuständigen Länderbehörden in der Prognose- und der Freisetzungsphase bei einem radiologisch signifikanten Notfall erprobt und Möglichkeiten zur Optimierung der Abläufe identifiziert. Ein zentrales Übungsziel lag in der gemeinsamen Erstellung des Radiologischen Lagebildes durch RLZ und Landesbehörden. Darüber hinaus konnten die Alarmierung und Zusammenarbeit der RLZ-Einheiten (BMUV, BfS, GRS) nachgewiesen werden.

Die in jeder Einheit festgestellten Verbesserungspotentiale, v. a. technischer Art, werden zeitnah umgesetzt. Eine detaillierte Auswertung der Übung erfolgt nach dem Abschluss des zweiten Übungstages, der außerhalb des Vorhabenzeitraums im November 2021 durchgeführt wurde.

5.5 NOTFALLÜBUNG CORE 2022

Die Notfallübung CORE 2022 beinhaltet die radiologische Lagebewertung für ein Unfallszenario aus dem Referenzszenario S5 des Allgemeinen Notfallplans des Bundes. Dieses Referenzszenario umfasst Ereignisse an kerntechnischen Anlagen, die keine Leistungsreaktoren sind. Für solche Anlagen wird in der Regel von nur lokalen Freisetzungen ausgegangen, weswegen die Zuständigkeit für die Erstellung des bundeseinheitlichen radiologischen Lagebildes auf Landesebene ist. Für den Fall, dass überregionale Konsequenzen erwartet werden oder eintreffen, übernimmt der Bund die Erstellung.

In Rücksprache mit dem Auftraggeber wurde, basierend auf den im Rahmen dieses Vorhabens durchgeführten Recherchen (siehe Abschnitt 5.1), ein Vorschlag für ein Szenario erarbeitet. Aufbauend auf diesem Vorschlag wurde gemeinsam mit der zuständigen Landesbehörde und dem Betreiber ein Szenario erstellt. Darüber hinaus wurden die Vorbereitungen der Übung im Rahmen dieses Vorhabens unterstützt. Es ist geplant, dass neben den RLZ-Stellen beim BMUV, BfS und GRS auch Landesbehörden an der Übung teilnehmen werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Fortschreibung des Szenarienkatalogs für behördliche Notfallschutzübungen dient als Grundlage für die regelmäßigen Notfallschutzübungen des RLZ. Die im Rahmen dieses Vorhabens erstellten Szenarien und die Unterstützung bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung bei der RLZ-Kommunikationsübung im Dezember 2020 sowie der Notfallübung CORE 2021 waren essentiell für den Übungserfolg. Auch die Teilnahme des GRS-Notfallzentrums als Teil des Radiologischen Lagezentrums des Bundes entsprechend dem gesetzlichen Auftrag wurde in diesem Rahmen ermöglicht. Auch die Unterstützung bei der Planung der Notfallübung CORE 2022 war in diesem Rahmen maßgeblich.

Darüber hinaus wurde auf Grundlage einer früheren Notfallübung eine Planbesprechung für den neu gegründeten Stab K (Kommunikation) der Kopfstelle des RLZ am Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) vorbereitet und durchgeführt. Ziel der Besprechung war, Unterstützung bei der Festlegung des Arbeitsbereichs und der Arbeitsabläufe des Stabes K innerhalb der Kopfstelle zu leisten.

2.7 Themenbereich 07

Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

2.7 *Subject area 07*

Projects of general importance to radiation protection

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

09.12.2021

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 beschäftigten 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 über die Nutzung mobiler Radiographie bei relevanten Betrieben, um einen Überblick über die verwendeten Geräte, Anzahl der strahlenexponierten Mitarbeiter*innen, die Arbeitsabläufe, Strahlenschutzmaßnahmen und 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 gehören die Darstellung der aktuellen Gesetze, Verordnungen und Richtlinien für den Betrieb und die Beförderung der Geräte.

2.3 DATENSAMMLUNG DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN PERSONENDOSEN (AP 3A UND 3B)

AP 3 dient der Sammlung von Expositionsdaten des Personals, wie sie beispielsweise durch Auswertung der betrieblichen Dosiserfassung, zusätzlichen 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 VORKOMMNISS, NOTFALLVORSORGE (AP 4)

AP 4 beschäftigt sich mit der Aufbereitung und Auswertung von Meldungen über besondere und potenzielle 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 Dosisersparungen 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*innen“, „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 PERSONENDOSIS (AP 3)

Im AP 3 wurden anhand der Datenerhebung aus AP 1 Betriebe ermittelt, bei denen die Dosisdaten der verwendeten Geräte und Methoden sowie die tatsächlichen Dosiswerte der Mitarbeiter*innen ausführlich erhoben werden. Um eine vollständige Abdeckung der Überwachung der Dosiswerte zu gewährleisten, werden den Betrieben zusätzliche Dosimeter bereitgestellt. Damit wurden die involvierten Mitarbeiter*innen (anonymisiert), die Methoden und Arbeitsabläufe, die ausgeführten Tätigkeiten und die Dauer der Einsätze 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 VORKOMMNISS, NOTFALLVORSORGE (AP 4)

AP 4 umfasst eine Literaturrecherche zu allen in Deutschland seit 2010 dokumentierten meldepflichtigen Vorkommnissen im Bereich der mobilen Radiographie. Zusätzlich wurden mögliche Ereignisse benannt, die zu ungeplanten Expositionen hätten führen können.

3.5 DATENANALYSE (AP 5)

Die erhobenen Daten wurden im AP 5 abschließend auf Wirksamkeit und Angemessenheit der regulatorischen Anforderungen analysiert. Dabei wurden 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, Vorgehensweisen und Arbeitsabläufe, 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 führte 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 der angelegten 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) sowie zahlreiche DIN-Normen. Grundlegend sind zunächst die Regelungen zur technischen Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe bei der zerstörungsfreien Prüfung.

4.3 DATENSAMMLUNG DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN PERSONENDOSEN (AP 3)

Vier Radiographiebetriebe haben sich bereit erklärt, an der Datenerfassung teilzunehmen. An diese Betriebe wurden betriebliche Dosimeter zusammen mit einem Erfassungsbogen zur monatlichen Übermittlung der Daten zugestellt. Die Datenerfassung wurde für die Zeitperiode von 9 Monaten durchgeführt (April – Dezember 2020).

Für jeden Einsatz wurden die folgenden Daten erfasst:

- Typ des Geräts
- Typ der Strahlenquelle
- Aktivität der Strahlenquelle
- ausgeführte Tätigkeiten wie z. B. Transport von Messgeräten, Vorbereitung und Durchführung von Aufnahmen
- Anzahl der Aufnahmen
- Dauer (Std.)
- abgelesener Dosiswert
- zusätzliche Informationen zu den Arbeitsabläufen.

Zur Überprüfung auf Plausibilität wurden die Dosiswerte mit den Daten aus dem Strahlenschutzregister abgeglichen.

Die für die Installation, den Auf- und Abbau sowie den Transport relevanten Dosisleistungen wurden in den Betriebsstätten von Applus RTD gemessen. Die Messungen der transportrelevanten Dosisleistungen wurden im Innen- und Außenraum des Fahrzeugs sowie an der Oberfläche und in der Nähe der Gammarradiographie-Geräte mit Se-75 und Ir-192 Strahlenquellen durchgeführt.

Für die exemplarischen Aufnahmen des Strahlungsfeldes in der Umgebung der mobilen Strahlungsquellen während des Einsatzes wurde der Applus RTD-Messtrupp bei Arbeiten auf einer Industrieanlage begleitet.

Ziel des Einsatzes war die Prüfung der Schweißnähte mit Verwendung der Se-75 Strahlenquelle an einer Rohrleitung. Für jede Schweißnaht waren vier Aufnahmen mit einer Expositionszeit von 15 s vorgesehen. Die Dosis- und Dosisleistungsmessungen wurden für die ersten 7 Aufnahmen (2 Schweißnähte) durchgeführt.

Da die geplanten Expositionszeiten zu kurz waren, um die Dosisleistung am Perimeter des Kontrollbereichs zu messen, wurden zwei zusätzliche Langzeitmessungen mit Se-75 und Ir-192 ohne Prüfgegenstand durchgeführt.

4.4 AUSWERTUNG DER BESONDEREN VORKOMMNISSSE, NOTFALLVORSORGE (AP 4)

Die besonderen Vorkommnisse beim Betrieb von Einrichtungen der mobilen Radiographie wurden aus den Jahresberichten des damaligen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) ermittelt. Da zum Zeitpunkt der Erstellung des AP 4-Berichts der letzte Jahresbericht des BMU nur bis zum Jahr 2017 veröffentlicht wurde, konnten die relevanten Ereignisse für den Zeitraum von 2010 bis 2017 erfasst werden.

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass zwischen 2018 und 2020 andere relevante meldepflichtige Ereignisse eingetreten sind. Da Zwischenfälle oder meldepflichtige Ereignisse der Stufe 2 (Störfall) oder größer gemäß der Internationalen Nuklearen und Radiologischen Ereignisskala (INES) bei der Internationalen Atomenergie-Organisation (International Atomic Energy Agency/IAEA) gemeldet werden müssen, sind Informationen zu solchen Ereignissen in IAEA-Berichten (IAEA-News) verfügbar. Für den Zeitraum von 2017 bis 2019 ist ein Vorfall bei der Anwendung des Radiographie-Gerätes der INES-Stufe 2 bekannt. Dieser Vorfall trat jedoch bei einer Durchstrahlprüfung im Labor auf.

4.5 DATENANALYSE (AP 5)

Der Fokus des AP 5 lag auf der Analyse der dosimetrischen Daten in Bezug auf die Wirksamkeit und Angemessenheit der regulatorischen Anforderungen. Ziel war dabei die Optimierung des Arbeitsschutzes mit konkreten Hinweisen zu Arbeitsabläufen, die zu Dosisersparungen führen können. Da Notfallsituationen im AP 4 im Detail analysiert wurden, lag der Schwerpunkt des AP 5 auf der Dosisbegrenzung für einen unfallfreien Betrieb. Die Analyse bezieht sich hauptsächlich auf Daten, die im Rahmen des AP 3 erhoben wurden.

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*innen 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*innen in der mobilen Radiographie bis maximal 6 mSv pro Jahr beträgt. Der jährlich zulässige Grenzwert für strahlenexponiertes Personal liegt bei 20 mSv pro Jahr. Der Großteil der Mitarbeiter*innen erfährt jedoch Dosen unter 3 mSv (etwa 92 %). Etwa 50 % des gesamten exponierten Personals erhält eine Dosis von unter 1 mSv pro Jahr. Um eine höhere Strahlenbelastung zu erkennen sind, alle strahlenexponierten Mitarbeiter*innen, neben dem amtlichen vorgeschriebenen Dosimeter, mit einem betrieblichen 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. Zusätzlich ist das Gerät meist mit Kollimatoren, Abschirmungen und Blenden ausgestattet oder es werden zusätzlich Gebäudestrukturen und Bleiabschirmungen verwendet.

In den letzten fünf Jahren kam es nach Angaben der Betriebe zu keinem Zwischenfall, Beinaheunfall oder sonstigen Vorkommnissen bei der Verwendung von Strahlenquellen im Rahmen der mobilen Radiographie. Bei Unfällen würden die Informationen zu den Vorkommnissen an die zuständigen Aufsichtsbehörden oder andere öffentliche Institutionen weitergegeben werden.

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 Dosis 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*innen zuständig.

5.3 DATENSAMMLUNG DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN PERSONENDOSEN (AP 3)

5.3.1 Datensammlung der Personendosen

Tabelle 1: Gesamtüberblick der gesammelten Dosisdaten

Firma	Mitarbeiter*innen	Periode	Quellen	Geräte	Ein-sätze	Auf-nahmen	Dosis [mSv]	Anmerkungen
1	F1_M1	April - Oktober	Ir-192	Teletron	118	1 680	1,33	M1 bereitet hauptsächlich die Filmtaschen vor und beschriftet die RT-Filme. Ab November ist M1 hauptsächlich für Einlesen und Auswertung von Speicherfolien zuständig. Daher gibt es für November - Dezember keine erfasste Strahlenexposition.
			Se-75	GammaMat Se	11	384		
	F1_M2	April - Dezember	Ir-192	Teletron	146	2 350	3,43	
			Se-75	GammaMat Se	16	525		
2	F2_M1	März – Dezember	Se-75	GammaMat Se	53	1 557	1,10	
3	F3_M1	Mai - Dezember	Ir-192	GammaMat TIF	8	151	0,50	
			Se-75	GammaMat Se	21	400		
4	F4_M1	April - Dezember	Ir-192	Gammamat TI, Gammamat TIF	61	844	0,17	stationärer Bestrahlungsplatz, mobile Stellwände aus Beton

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die unter AP 3 erfassten Dosisdaten. Obwohl diese Daten nicht repräsentativ genug sind, um die gesamte Situation in der deutschen mobilen Gammarradiographie darzustellen, können sie typische Probleme und Besonderheiten klar veranschaulichen.

Die in der Tabelle 1 dargestellten Dosisdaten zeigen einen großen Unterschied zwischen der mobilen Gammarradiographie, bei der der Kollimator (oder die Blende) und der Abstand zur Strahlungsquelle die

Hauptmittel des Strahlenschutzes sind, und der Radiographie am stationären Bestrahlungsplatz, wo verschiedene Abschirmungsmittel, wie z. B. mobile Stellwände aus Beton, zur Verfügung stehen. Die Daten zeigen auch erhebliche Unterschiede in der Anzahl der Arbeitseinsätze der einzelnen Firmen.

Die Dosiswerte pro Einsatz wurden in Abhängigkeit von der Quellenstärke und der Anzahl der Aufnahmen analysiert. Die Werte zeigen erhebliche Schwankungen, da die Randbedingungen an verschiedenen Messorten sehr unterschiedlich und daher schwer zu standardisieren sind. Die Abhängigkeit der Strahlendosis von der Anzahl der Aufnahmen ist erkennbar, während keine Korrelation zwischen der Strahlendosis und der Aktivität der Strahlenquelle gefunden wurde. Die Erklärung liegt in der üblichen Praxis der mobilen Radiographie, die Größe des Kontrollbereichs zu minimieren.

Zusätzliche Angaben wurden angefordert, wenn der Dosiswert $40 \mu\text{Sv}$ pro Einsatz überschritt. Die Ursachen können wie folgt klassifiziert werden:

- große Anzahl von Aufnahmen oder längere Belichtungszeiten durch hohe Wandstärken und große Rohrdurchmesser
- ungünstige Messbedingungen: schwer zugängige Stellen (Gerüst, tiefe Gruben).

5.3.2 Exemplarische Aufnahme des Strahlenfeldes

Die Strahlendosis während der Vorbereitungsphase ist zum größten Teil auf das Tragen und die Vorbereitung des Gammadiographie-Geräts zurückzuführen. Diese Dosis ist relativ gering im Vergleich zu der, die durch Bedienung der Fernbedienungskurbel oder während der Belichtungszeit auftreten kann, ist aber im Fall der Ir-192-Quelle nicht vernachlässigbar. Der Beitrag des Transports ist vernachlässigbar.



Abbildung 1: Graphische Darstellung der Dosisleistung für Ir-192 (1225 GBq, rote Linien), projiziert auf die Körperkontur eines Prüfers beim Tragen des Geräts

5.4 AUSWERTUNG DER BESONDEREN VORKOMMNISSIE, NOTFALLVORSORGE (AP 4)

Für den Zeitraum von 2010 bis 2017 wurden in Deutschland insgesamt 10 besondere Vorkommnisse beim Betrieb von Einrichtungen der mobilen Radiographie gemeldet. Die Mehrzahl der Vorfälle mit erheblichen radiologischen Folgen war mit Störung beim Rück-/Ausfahren der Strahlenquelle des Gammadiographie-Geräts verbunden. Diese Störung kann jedoch nur im Zusammenhang mit groben Fehlern und Missachtung der Strahlenschutzregeln zu einer unzulässigen Strahlenexposition führen.

Die niedrige Zahl der Vorkommnisse spricht für die Wirksamkeit der folgenden Präventionsmaßnahmen.

- Organisatorische Maßnahmen:
 - Unterweisungen und Schulungen
Die wichtigste Voraussetzung zur Prävention der bedeutsamen Vorkommnisse ist, dass jede/r, der/die am Betrieb von Einrichtungen der mobilen Radiographie beteiligt ist, über die notwendigen Kenntnisse zum Strahlenschutz verfügt. Jedem Prüftrupp muss ein/e Strahlenschutzbeauftragte/r vor Ort gestellt werden, der/die entsprechende Fachkenntnisse besitzt.
 - Strahlenschutzregeln für den Betrieb
Vom Betrieb erstellte Strahlenschutzanweisungen beschreiben die Regeln, die einen sicheren, störungsfreien Arbeitsablauf gewährleisten.
- Technische Maßnahmen
Technische Defekte sind die häufigste Ursache für schwerwiegende radiologische Vorfälle beim Betrieb von Einrichtungen der mobilen Radiographie. Deswegen gehören technische Kontrolle und Wartungsarbeiten an radiographischen Geräten zu den wichtigsten Präventionsmaßnahmen. Diese sind in den entsprechenden DIN-Normen festgelegt.
- Anweisungen für Notfallsituationen
Im Notfall, wie z. B. eine Störung beim Einfahren der radioaktiven Quelle, müssen Mitarbeiter*innen das genaue Verfahren kennen, um die Störung zu beheben und eine unzulässige Strahlenexposition auszuschließen. Dieses Verfahren, der Maßnahmenkatalog für bedeutsame Vorkommnisse, ist in den Strahlenschutzanweisungen festgelegt.

5.5 DATENANALYSE (AP 5)

5.5.1 Dosiswerte und Einsatzbedingungen

Die Personendosis, die ein/e industrielle/r Radiograph*in in einer bestimmten Zeitperiode (Tag/Monat/Jahr) erhält, hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab. Diese Faktoren können bedingt als *Arbeitsumfang* und *Arbeitsbedingungen* bezeichnet werden. Der *Arbeitsumfang* kann durch die Anzahl der Aufnahmen abgeschätzt werden. Die *Arbeitsbedingungen* lassen sich durch die durchschnittliche Dosis pro Aufnahme charakterisieren. Die im Rahmen des AP 3 erfassten Personendosen zeigen, dass beide Faktoren eine wichtige Rolle spielen.

Im Gegensatz zum *Arbeitsumfang* sind die *Arbeitsbedingungen* komplex strukturiert. Dazu gehören:

- Ausgeübte Tätigkeiten
 - *Bedienung der Fernbedienungskurbel*
Da die Quelle beim Ausfahren und Zurückfahren für einige Sekunden nahezu ungeschwächt strahlt, dominiert der entsprechende Beitrag zur Gesamtdosis im Vergleich zu anderen Tätigkeiten bei den kurzen (< 1 min) und im Falle der Se-75-Quelle auch bei den mittleren (einige Minuten) Belichtungszeiten.
 - *Belichtung (Aufnahme)*
Normalerweise befindet sich das Prüfpersonal während der Belichtungszeit außerhalb des Kontrollbereichs in der durch einen Kollimator abgeschirmten Zone. Eine genaue Abschätzung der Dosis während der Belichtungszeit ist schwierig, da das Prüfpersonal bei längeren Belichtungszeiten eine relativ große Bewegungsfreiheit hat. Andererseits kann Rückstreuung bereits bei mittleren Belichtungszeiten einen erheblichen Beitrag zur Gesamtdosis leisten. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass die aus der Belichtung resultierende Dosis für Se-75 bei längeren Belichtungszeiten (> 10 min) und für Ir-192 bei mittleren und längeren Belichtungszeiten mit dem Beitrag aus der Bedienung der Fernbedienungskurbel vergleichbar sein kann.
 - *Vorbereitung (Aufbau, Abbau)*
Die Strahlendosis während der Vorbereitungsphase ist zum größten Teil auf das Tragen und die Vorbereitung des Gammarradiographie-Geräts zurückzuführen. Diese Dosis im Vergleich zu

den oben betrachteten Beiträgen relativ gering, aber im Fall der Ir-192-Quelle nicht vernachlässigbar.

- *Transport*
Der Beitrag des Transports ist vernachlässigbar.
- Bedingungen an der Baustelle
 - *Strahlenquelle*
Wie bereits aus der Betrachtung der oben genannten Tätigkeiten ersichtlich ist, ist die Personendosis von den verwendeten Strahlenquellen abhängig. Die in AP 3 ermittelten Dosiswerte pro Aufnahme sind für Ir-192 im Durchschnitt um den Faktor 1,5 -2 größer als für Se-75.
 - *Parameter des Prüfgegenstands (Durchmesser, Wanddicke)*
Diese Parameter sind entscheidend für die Auswahl der Strahlenquelle und für die Bestimmung der Belichtungszeit. Sie können auch für die Berechnung der Kontrollbereichsgrenzen wichtig sein.
 - *Bauliche Strukturen (Gebäude, Fundamente, usw.), Gruben*
Solche Strukturen, die eine zusätzliche Abschirmung bieten, können die Dosis drastisch reduzieren.
 - *Räumliche Beschränkungen*
Bei Arbeiten in geschlossenen Räumen, tiefen Gruben und auf Gerüsten ist die Möglichkeit, einen ausreichenden Abstand zur Quelle einzuhalten, stark eingeschränkt.
 - *Zugänglichkeit der Prüflinge*
Wenn ein Prüfobjekt schwer zugänglich ist, z. B. in großer Höhe liegt (Kessel, Rektifikationskolonne), ist es schwierig, eine zusätzliche Abschirmung, wie z. B. einen Bleisack, zu verwenden. Sehr oft sind damit auch räumliche Beschränkungen verbunden (Gerüst, Gitterrost).
 - *Strahlenschutzmaßnahmen vor Ort*
Die Strahlenschutzmaßnahmen lassen sich sehr einfach mit den Stichworten „Abstand, Aufenthalt, Abschirmung“ formulieren. Sie sind jedoch nicht immer problemlos zu realisieren, da sie von allen oben genannten Randbedingungen abhängen.

5.5.2 Wirksamkeit und Angemessenheit der regulatorischen Anforderungen

Im Zuge des Projekts wurden in folgenden Punkten Abweichungen von regulatorischen Anforderungen, Schwierigkeiten oder Besonderheiten bei der praktischen Umsetzung festgestellt:

- Vermeidung unnötiger Exposition und Dosisreduzierung
Die Informationen über die Baustelle sind vor einem Einsatz nicht immer ausreichend detailliert. Dies führt häufig dazu, dass die Strahlenschutzmaßnahmen nicht optimal vorbereitet sind.
- Kontrollbereichsgrenze
Die Schwierigkeiten bei der Berechnung und Minimierung der Kontrollbereichsgrenze liegen darin, dass ein Kontrollbereich in der Regel für mehrere Aufnahmen an verschiedenen Stellen eingerichtet wird (z. B. sieben Schweißnähte, vier Aufnahmen pro Schweißnaht). Das bedeutet, dass die Quelle von verschiedenen Punkten aus in verschiedene Richtungen strahlt. In der Praxis wird die Grenze des Kontrollbereichs, von wenigen Ausnahmen abgesehen, „aus Erfahrung“ abgeschätzt.

5.5.3 Optimierungsmöglichkeiten

In Bezug auf Dosisoptimierung besteht ein erhebliches Verbesserungspotenzial in der Kommunikation mit den Kunden.

Als praktisches Instrument zur Dosisoptimierung wurde der innerbetriebliche Tagesrichtwert empfohlen, der zur Systematisierung des Kenntnisstandes der Strahlenschutzbeauftragten über die Expositionssituationen verwendet werden sollte.

5.5.4 Gute Vorgehensweisen (best practice)

Das für die Dosisoptimierung bedeutendste Problem der mobilen Radiographie besteht darin, dass die Arbeitsbedingungen an den verschiedenen Einsatzorten sehr unterschiedlich und daher schwer zu standardisieren sind. In diesem Zusammenhang kann fast jede Empfehlung zur Dosisoptimierung nur mit den Worten „wenn möglich“ oder „so groß (lang/kurz usw.) wie möglich“ formuliert werden. Dies bedeutet auch, dass die Situation, in der nicht alle durch die Arbeitsbedingungen vor Ort zulässigen Strahlenschutzmaßnahmen getroffen wurden, als unnötige Exposition zu betrachten ist. Andererseits bedeutet der Begriff „gute Vorgehensweise“ bei der mobilen Radiographie, dass die Strahlenschutzmaßnahmen optimal an die Gegebenheiten der Baustelle angepasst sind.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das durchgeführte Vorhaben „Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition bei der mobilen Radiographie“ zeigt deutlich den Optimierungsbedarf bei der Durchführung von mobilen Radiographien auf und gibt konkrete, leicht durchzuführende Optimierungsmöglichkeiten an. Die Strahlenexposition der Berufsgruppe der mobilen Radiographen erreicht die höchsten mittleren Jahresdosen (1 - 3 mSv/a) aller Berufsgruppen. Im Fall technischer Störungen können die individuellen Dosiswerte erheblich höher sein. Als Beispiel sei ein besonderes Vorkommnis aus dem Jahr 2013 genannt, bei dem ein Mitarbeiter bei der Behebung einer effektiven Dosis ca. 75 mSv ausgesetzt war, zusätzlich wurde die Strahlendosis für die Hand auf 10 bis 30 Sv abgeschätzt. Sowohl im Normalbetrieb als auch im Störfall kann die Dosis durch organisatorische Maßnahmen reduziert werden, z. B. durch Wahl der Strahlungsquelle mit der niedrigsten möglichen Aktivität. Dadurch wird die Dosis, die durch die Bedienung der Fernbedienungskurbel entsteht, reduziert. Obwohl eine geringere Aktivität eine längere Expositionszeit bedeutet, geben längere Expositionszeiten dem Prüfpersonal mehr Bewegungsfreiheit, um einen ausreichenden Abstand zur Strahlungsquelle einzuhalten. Durch Einsatz von Bleisäcken an der Baustelle, was leider nicht immer der Fall ist, kann die Dosis reduziert werden.

Obwohl die SSK „der Auffassung, dass zur weiteren Optimierung keine Dosisrichtwerte (Dose Constraints) geeignet wären“ ist, zeigt das Vorhaben, dass der Tagesrichtwert gut geeignet ist, die bestehenden Schwachstellen im Strahlenschutz bei der mobilen Radiografie zu verbessern. Im Rahmen von AP 3 wurde ein Tagesdosisrichtwert von 40 μ Sv empfohlen. Dieser Wert ist typisch für die mobile Gamma-radiographie und könnte als innerbetrieblicher Tagesrichtwert für andere Betriebe übernommen werden.

Zukünftig sollte die digitale Radiographie die Filmradiographie ersetzen. Das Einzige, was der digitalen Radiographie derzeit noch im Wege steht, ist ein gewisser Konservatismus der Kunden und der Sachverständigen. Aus Sicht des Strahlenschutzes ist die wesentlich kürzere Belichtungszeit im Vergleich zu RT-Filmen ein großer Vorteil der digitalen Radiographie.

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. G. von Oertzen

1. ZIELSETZUNG

Dieses Vorhaben bezieht sich auf Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus kerntechnischen Anlagen, die gemäß § 99 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.

Vor diesem Hintergrund erfolgte 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)

Eine Literaturrecherche in etablierten Fachzeitschriften und anderen einschlägigen Quellen ergab einen Überblick über vorhandene Messdaten zu Partikel- und Aktivitätsverteilungen in den beiden genannten interessierenden Größenbereichen aus kerntechnischen Anlagen sowie eine Zusammenstellung der Messmethoden, die bei diesen Bestimmungen der Aktivitätsverteilungen verwendet wurden.

2.2 ERARBEITEN DER MESSSTRATEGIE, PLANUNG DER MESSUNGEN (AP 2)

Die Messungen, die anschließend in AP 3 durchgeführt wurden, wurden konkret geplant. Hierzu gehörte die Entwicklung einer Messstrategie einschließlich der Auswahl geeigneter kerntechnischer Anlagen sowie die Einholung von Genehmigungen zur Durchführung der geplanten Messungen. Ziel war die Messung in Anlagen mit laufenden Zerlegeverfahren, um deren Einfluss auf die Abluft und Fortluft zu erfassen.

2.3 EXPERIMENTELLE BESTIMMUNG DER PARTIKELGRÖßEN- UND AKTIVITÄTSVERTEILUNGEN IN KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN MIT UND OHNE VOLLFILTERUNG (AP 3)

Im Rahmen von AP 3 erfolgte 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 Aerosolpartikeldurch-

messers, die Ermittlung geeigneter Beprobungsstellen, die Durchführung dieser Messungen in kern-technischen Anlagen sowohl im bestimmungsgemäßen Betrieb als auch im Rückbau sowie die Bestimmung der Partikelgrößen- und Aktivitätsverteilungen mit ausreichender Auflösung in Bezug auf den Partikeldurchmesser. Die Auswertung der Proben bezüglich ihrer nuklidspezifischen Aktivitäten erfolgte in Labors der RCM Radiochemie München.

3. METHODIK

Im Rahmen von AP 1 wurden die Grundlagen für die späteren Messungen und deren Auswertungen erarbeitet.

Im Rahmen von AP 2 wurden die Messstrategie und die Planung der in AP 3 durchzuführenden experimentellen Messkampagnen entworfen und beschrieben sowie probeweise erste Messungen durchgeführt und ausgewertet.

Die Durchführung der Messungen in AP 3 erfolgte in zwei Schritten: Im ersten Schritt erfolgte die Entnahme der Partikel mit einem Impaktor. In den verschiedenen Impaktorstufen scheiden sich Partikel unterschiedlicher aerodynamischer Durchmesser (AED) ab. Im zweiten Schritt wurden diese nach Korngröße getrennten Partikel gammaspektrometrisch und mit Messungen der Alpha- und Beta-Gesamtaktivität sowie weiteren Verfahren (Rasterelektronenmikroskopie, Massenspektrometrie) untersucht. Ziel waren die Ermittlung der Aktivitätskonzentrationsverteilung relevanter Radionuklide nach Partikelgröße und ein Vergleich dieser Verteilung mit vorliegenden Ergebnissen für Anlagen in der Betriebsphase.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Messungen umfassten Kurzzeitmessungen am Entstehungsort der Aerosolpartikel, Online-Kurzzeitmessungen hinter den Vorfiltern an den Zerlegeplätzen und Langzeitmessungen vor und hinter der Filteranlage zum Fortluftkamin.

Es wurden folgende Messungen durchgeführt:

- Online- und Offline-Kurzzeitmessungen in Räumen der RCM Radiochemie München u. a. bei Umfüllarbeiten an Abfallgebinden in einer separaten Einhausung
- Offline-Kurzzeitmessungen in der Lüftungsanlage des stillgelegten Forschungsreaktors München (über mehrere Stunden)
- Offline-Langzeitmessungen in Fortluft und Abluft des Kernkraftwerkes Isar Block 1 (KKI-1) und des Kernkraftwerkes Biblis Block A (KWB-A) (jeweils über mindestens 4 Monate)
- Offline-Kurzzeitmessungen am Aerosolentstehungsort ohne Filterung, am KWB-A bei verschiedenen Zerlegearbeiten (über mehrere Stunden)
- Online-Kurzzeitmessungen in der Abluft verschiedener Zerlegearbeiten am KKI-1 (über einige Tage).

Die Auswertung der Offline-Messungen erfolgte über die gravimetrische Bestimmung der Massenkonzentration in den einzelnen Partikelgrößenklassen. Bei den Online-Messungen ergab die Auswertung eine Verteilung der Anzahlkonzentration in den verschiedenen Partikelgrößenklassen. Bei allen Messungen wurden zudem die Aktivitätsverteilung durch gammaspektrometrische Messungen sowie Messung der Alpha- und Beta-Gesamtaktivität in den verschiedenen Größenklassen bestimmt.

Im Anschluss wurden anhand einer Ausbreitungsrechnung für einen generischen Standort die potenziellen Auswirkungen verschiedener Parametrisierungen auf die berechnete Exposition dargestellt und verglichen.

5. ERGEBNISSE

5.1 VERGLEICH DER PARTIKELMASSEN- UND AKTIVITÄTSKONZENTRATIONSVERTEILUNG

Die Langzeitmessungen ergaben eine bimodale Verteilung der Partikelmassenkonzentration sowohl in der Abluft als auch in der Fortluft beider kerntechnischer Anlagen. Die lokalen Maxima lagen bei etwas unterschiedlichen AED mit einem kleineren Maximum zwischen $0,1\ \mu\text{m}$ und $0,25\ \mu\text{m}$ und dem jeweils größeren lokalen Maximum bei einem AED von $2\ \mu\text{m}$ bis $2,5\ \mu\text{m}$. Die Verteilung der Beta-Aktivitätskonzentration stimmte mit der gravimetrischen Verteilung weitestgehend überein, wenn die Messergebnisse nicht an oder unterhalb der Erkennungsgrenze lagen. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die entsprechende Partikelverteilung in der Abluft am KKI.

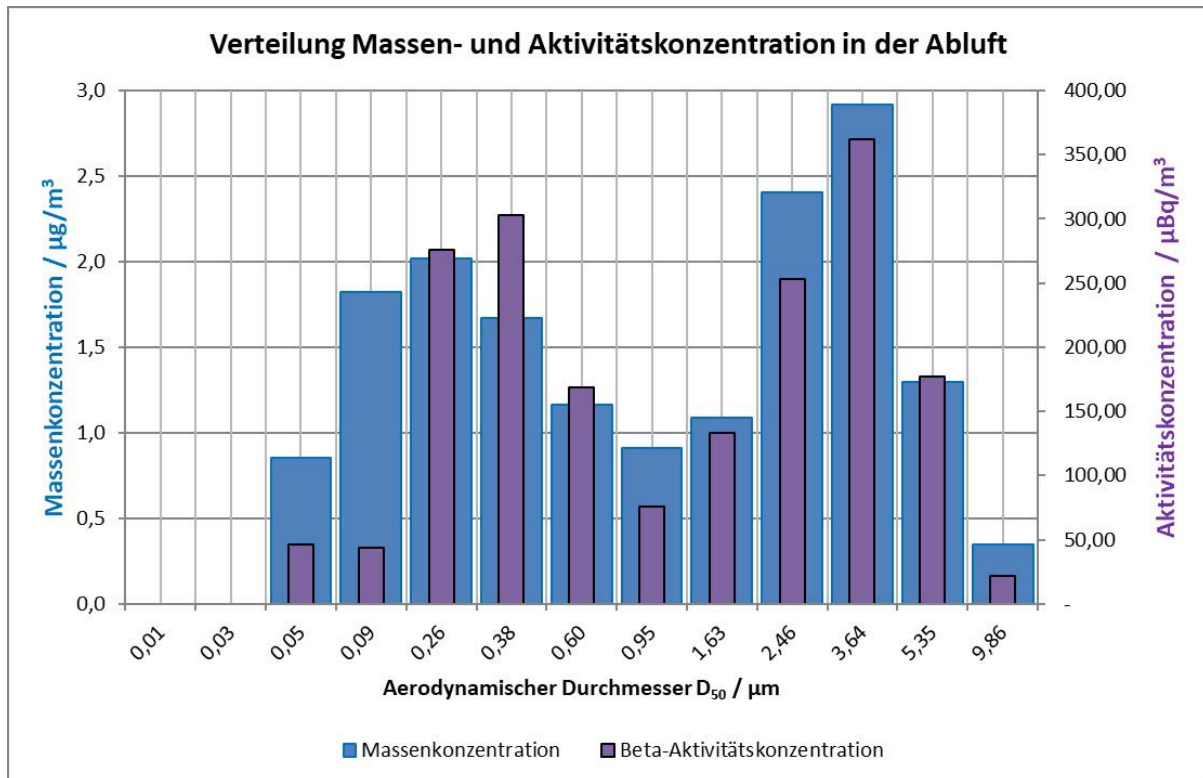


Abbildung 2: Massen- und Aktivitätskonzentrationsverteilung in der Abluft vor der Vollfilteranlage

Auch bei den Offline-Kurzzeitmessungen am Aerosolentstehungsort ohne Filterung ergaben sich bimodale Partikelmassenkonzentrationsverteilungen mit lokalen Maxima bei AED von einerseits bis zu $0,25\ \mu\text{m}$ und andererseits zwischen $1,5\ \mu\text{m}$ und $2,5\ \mu\text{m}$. Die Partikelaktivitätskonzentration ergab hier durchgehend eine unimodale Verteilung, deren Maximum mit dem der gravimetrischen Verteilung im Bereich oberhalb von ca. $1\ \mu\text{m}$ ungefähr übereinstimmte. In den Bereichen der AED unter etwa $0,3\ \mu\text{m}$ konnte keine Aktivität mehr nachgewiesen werden, daher kann der Eindruck der unimodalen Aktivitätskonzentrationsverteilung mit der Messunsicherheit bei kleinen AED zusammenhängen.

5.2 FILTERWIRKUNG

Die Filterwirkung wurde durch die deutlich reduzierte Gesamtmasse und Gesamtaktivität nach der Filteranlage sehr gut nachgewiesen: Die Massenkonzentration hinter dem Filter wurde jeweils um mehr als das Dreifache reduziert; die Aktivitätskonzentration in der Fortluft war jeweils so gering, dass auch nach einer Messdauer von mehreren Monaten in fast allen Größenklassen keine Aktivität mehr nachgewiesen werden konnte. Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Massenkonzentrationsverteilung vor und hinter der Vollfilteranlage am KWB.

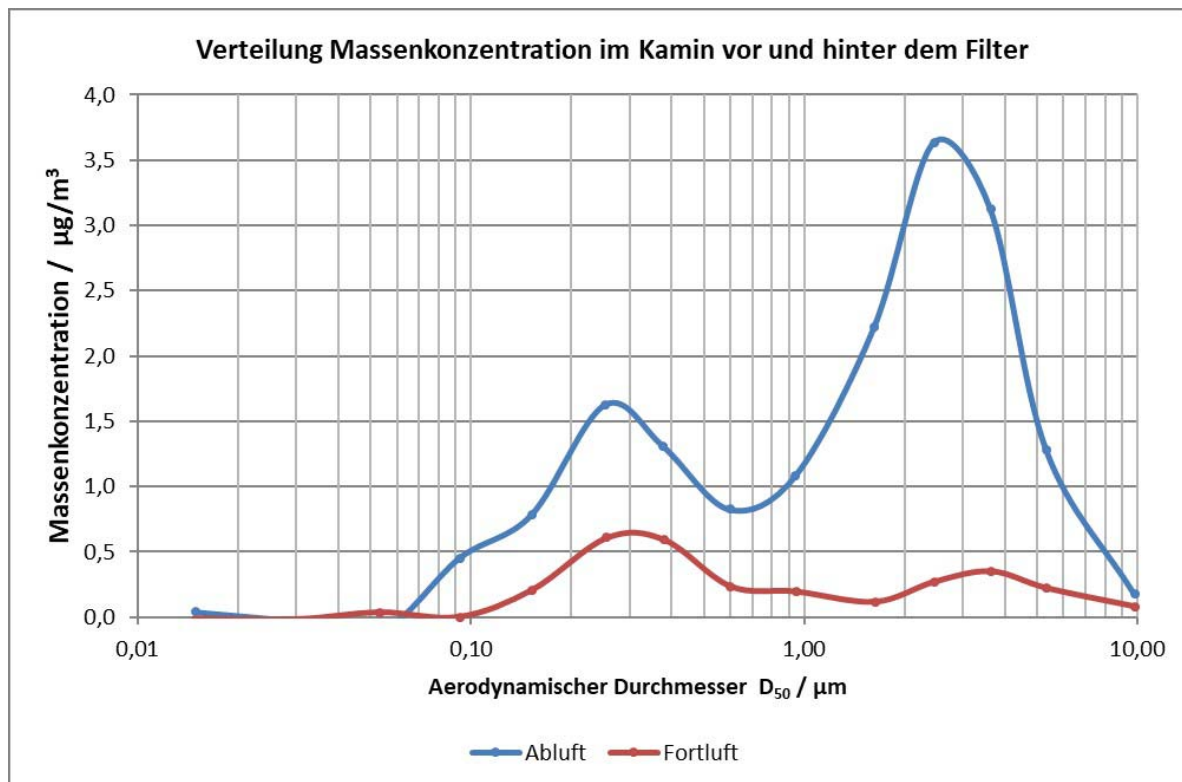


Abbildung 3: Vergleich der Partikelmassenkonzentration in Abluft und Fortluft zur Bewertung der Filterwirkung

5.3 PARTIKELVERTEILUNG NACH GRÖßENKLASSEN IM PARTIKELMODELL ARTM

Von den Partikelgrößenklassen, die im Partikelmodell ARTM berücksichtigt werden müssen, werden nur die beiden kleineren (AED-Klasse 1: $< 2,5 \mu\text{m}$ und AED-Klasse 2: $2,5 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$) von der hier verwendeten Messtechnik abgedeckt. Allerdings spielen die AED-Klassen 3 ($10 \mu\text{m} - 50 \mu\text{m}$) und 4 ($> 50 \mu\text{m}$) für die Ausbreitungsrechnungen der Partikel hinter dem Filter keine maßgebliche Rolle.

Für die Ausbreitungsrechnung nach ARTM ohne Filterung gleicht die Verteilung der Partikelkonzentration der Verteilung der Aktivitätskonzentration auf die beiden AED-Klassen mit jeweils ca. 60 % der Masse und Aktivität in AED-Klasse 1 und jeweils 40 % in AED-Klasse 2. Nach dem Filter verschiebt sich dieses Verhältnis teilweise deutlich, so dass in der Fortluft nur noch zwischen 10 % und 25 % der Masse in AED-Klasse 2 anzutreffen sind. Auf Grund der sehr geringen gemessenen Aktivitätskonzentration in der Fortluft konnte diese Aufteilung für die Aktivitätskonzentrationsverteilung nicht eindeutig bestätigt werden.

Generische Berechnungen der durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft bedingten Exposition zeigen deutlich, dass die Parametrisierung der trockenen und der nassen Ablagerung einen erheblichen Einfluss auf die berechnete Exposition hat. Dabei zeigte sich, dass die bisher bestehende Parametrisierung als eine konservativ-realistische Abschätzung für die im Rahmen dieses Vorhabens ermittelte Partikelgrößenverteilung in der Fortluft gefilterter Abgaben angesehen werden kann. Zum Vergleich wird in Abbildung 3 eine Dosisberechnung nach der AVV zu § 47 StrlSchV (in der vor dem 31.12.2018 gültigen Fassung) ohne Unterscheidung der Partikelgrößenklassen gezeigt. In Abbildung 4 ist die Berechnung unter der Annahme durchgeführt worden, dass 90 % der Partikel der AED-Klasse 1 zugeordnet werden; es ergibt sich eine etwas niedrigere Gesamtdosis. Die Wahl der Ablagerungsparameter der AVV zu § 47 StrlSchV stellt demnach einen ausreichend konservativen Ansatz dar.

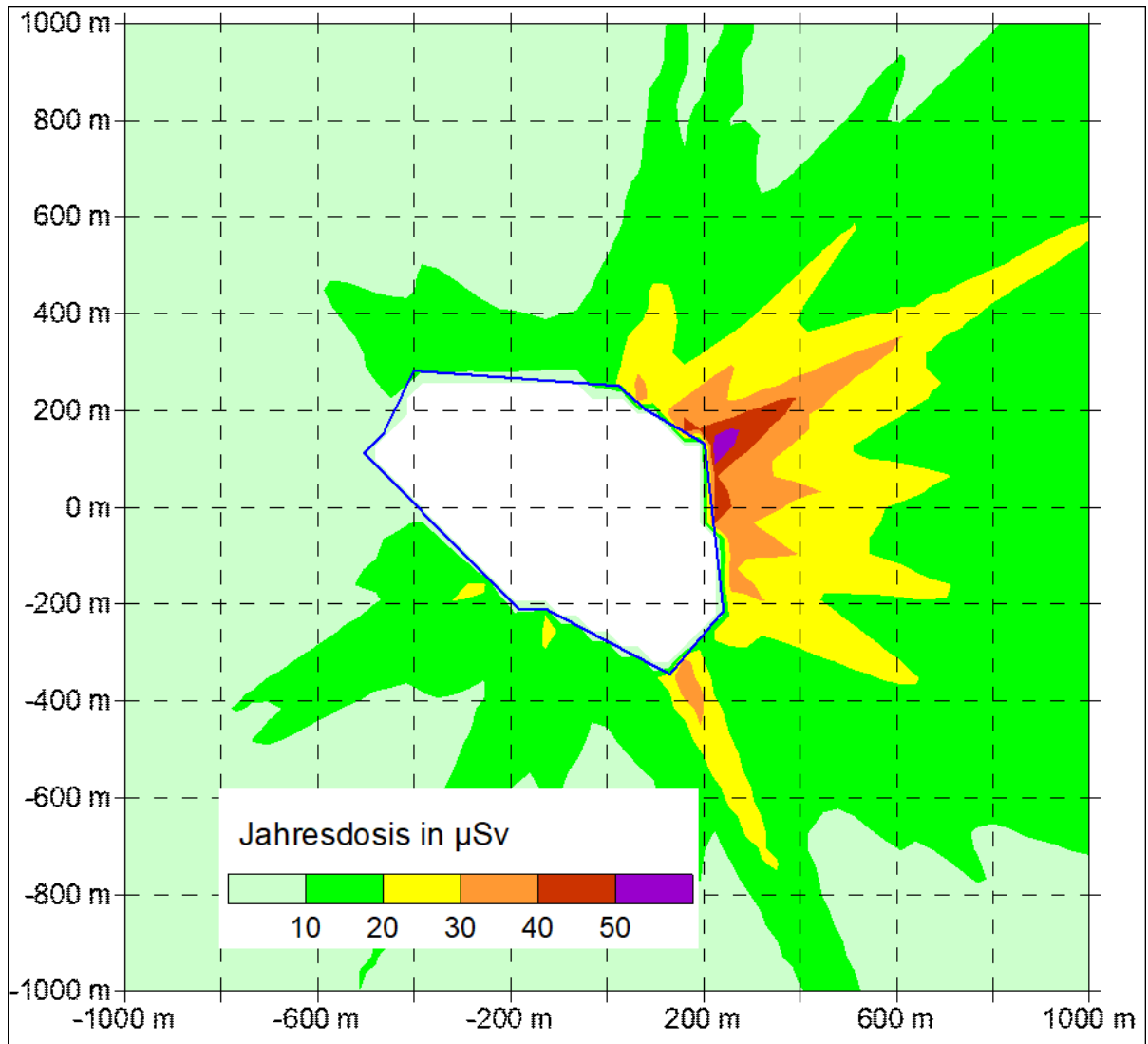


Abbildung 4: Generische Ausbreitungsrechnung und Berechnung der Exposition ohne Unterscheidung von Partikelgrößenklassen

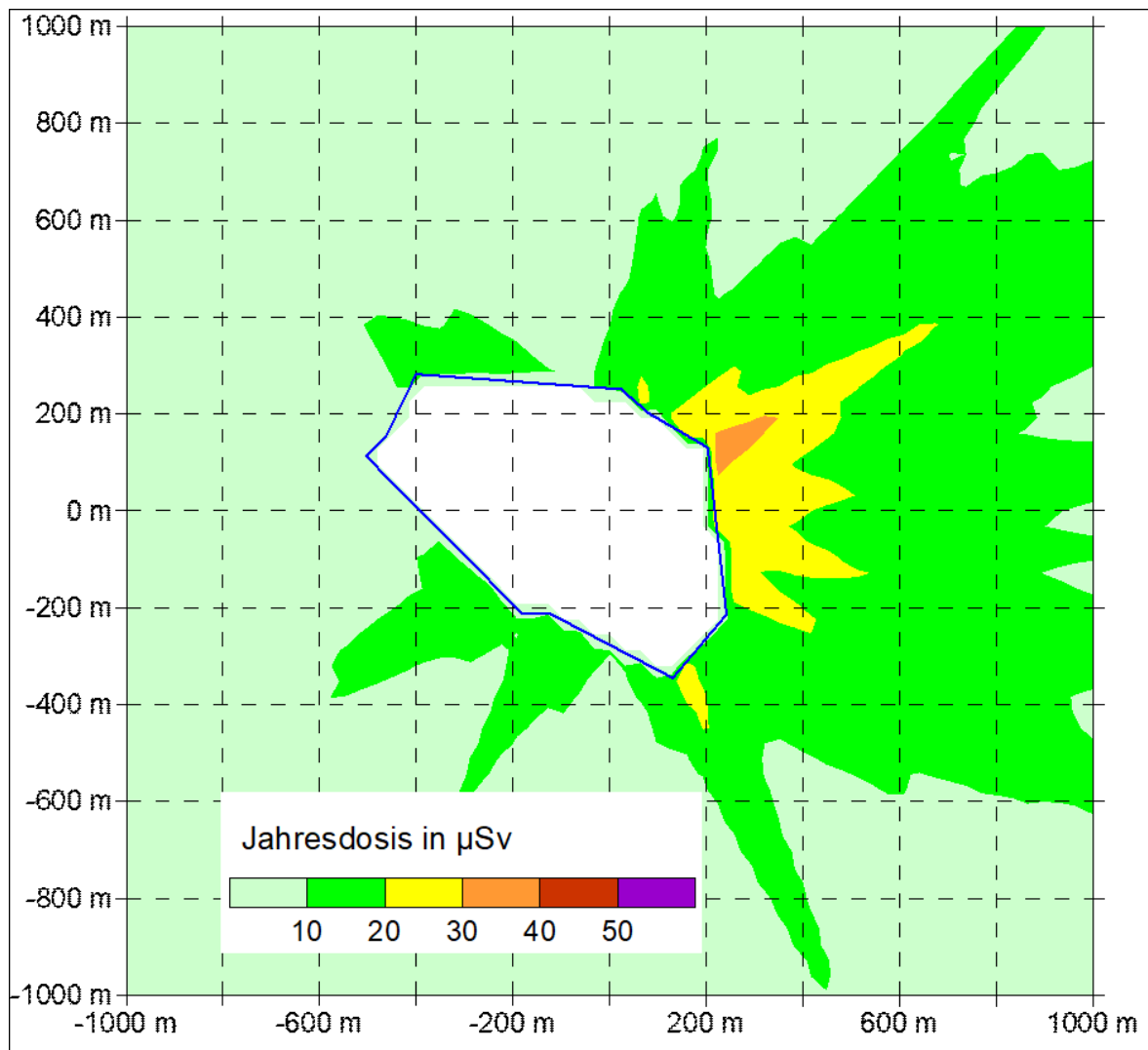


Abbildung 5: Generische Ausbreitungsrechnung und Berechnung der Exposition mit 90 % der emittierten Partikel in AED-Klasse 1

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Diese Studie gibt Auskunft über die Aktivitäts- und Partikelverteilungen von Aerosolpartikeln, insbesondere von solchen mit einem aerodynamischen Durchmesser (AED) unter $1\ \mu\text{m}$, in der Fortluft kerntechnischer Anlagen während der Stilllegungsphase. Damit kann diese Studie helfen, generische Werte für die AED-Klassen bei Anlagen in der Stilllegungsphase sowohl mit als auch ohne Vollfilterung festzulegen, die in der realitätsnahen Expositionsrechnung nach § 101 StrlSchV zu berücksichtigen sind, um eine Überschätzung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung zu vermeiden.

Thema			
Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG und standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle			
Subject			
<i>Update of the investigation and evaluation of task-related radiation exposure in nuclear facilities and on-site interim storage facilities for radioactive waste</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3618S72392	01.11.2018	31.10.2021	EUR 316.966,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. A. Günther	L. Kammerer / MB 4	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 dieser Anlagen. Durch die endgültige Abschaltung von acht Leistungsreaktoren im Jahr 2011, je einem weiteren in den Jahren 2015, 2017 und 2019 sowie der Abschaltung aller Leistungsreaktoren bis 2022 erhält die mit den Stilllegungstätigkeiten einhergehende Strahlenexposition eine aktuelle Bedeutung für den radiologischen Arbeitsschutz in kerntechnischen Anlagen. Ebenso gewinnt der Betrieb von Zwischenlagern 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 Strahlenexposition erforderlich, die hinsichtlich des erforderlichen Datenmaterials über Daten der amtlichen Personendosimetrie hinausgehen.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden frühere Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen beruflichen Exposition in kerntechnischen Anlagen unter dem Gesichtspunkt der Optimierung fortgeschrieben. Betrachtet wurden deutsche Kernkraftwerke, Anlagen der Ver- und Entsorgung sowie deutsche Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle. Grundlage der Untersuchungen waren fortlaufend zu sammelnde Daten und Informationen zur beruflichen Strahlenexposition in den kerntechnischen Anlagen, die die Datenreihen früherer Jahre fortsetzen und ergänzen sowie nationale und internationale Erfahrungen zum beruflichen Strahlenschutz. Auf Grundlage der Analyse der gesammelten Informationen wurden 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 wurden relevante Vorhabensergebnisse in den nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch, insbesondere im Rahmen der Mitarbeit im Information System on Occupational Exposure (ISOE) der OECD Nuclear Energy Agency (NEA), eingebracht.

Darüber hinaus wurden Fragen im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz ausländischen Fremdpersonals bearbeitet.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

2.1 DATENERHEBUNG UND DOKUMENTATION

Für kerntechnische Anlagen in Deutschland sollten Informationen und Daten, die für die Dokumentation und Auswertung der beruflichen Strahlenexposition in den Anlagen von Bedeutung sind, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der durchgeführten Tätigkeiten für die Jahre 2017 bis 2019 erhoben, aufbereitet und in Berichten dokumentiert werden. Die erhobenen Daten stammen aus der betrieblichen Dosimetrie der Anlagen und weisen einen Detaillierungsgrad auf, der höher ist als bei Daten der amtlichen Strahlenschutzüberwachung.

2.2 DATENANALYSE

Anhand der Daten sollten die Zusammenhänge zwischen der beruflichen Strahlenexposition und den sie beeinflussenden Faktoren untersucht und die Möglichkeiten der Reduktion der Exposition dargestellt werden. Schwerpunkt der Analyse waren die zu verrichtenden Tätigkeiten und die ergriffenen technischen und arbeitsorganisatorischen Strahlenschutzmaßnahmen. Soweit im Hinblick auf Aussagen über Optimierungsmöglichkeiten des Strahlenschutzes oder über Dosisreduzierungen sinnvoll, waren hierbei Teilaspekte von durchgeführten Tätigkeiten in die Analyse einzubeziehen.

Die zu erfassenden Daten und ihre Auswertungen sollten frühere Daten und Auswertungen fortführen und einen Vergleich auf nationaler und internationaler Ebene (OECD und EU) ermöglichen. Deshalb wurde bei der Datenerfassung und Aufbereitung eine international einheitliche Charakterisierung der Tätigkeiten angewendet. Die internationale Zusammenarbeit und der Informationsaustausch erfolgten insbesondere durch die Mitarbeit im ISOE.

2.3 OPTIMIERUNGSEMPFEHLUNGEN

Auf der Basis der erhobenen Daten und Analyseergebnisse sowie nationaler und internationaler Entwicklungen sollten Vorschläge zur Optimierung der Arbeitseinsätze und der Arbeitsmittel, insbesondere bei wiederkehrenden Prüfungen und bei typischen Arbeitsschritten der Revision, im Nachbetrieb und bei der Stilllegung, erarbeitet werden.

Bei der Erarbeitung der Optimierungsempfehlungen wurden 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) waren vorgesehen.

2.4 EINSATZ VON AUSLÄNDISCHEM FREMDPERSONAL

Es sollten Aspekte zum Einsatz von ausländischem Fremdpersonal (externes Personal) in kerntechnischen Anlagen betrachtet werden, die sich aus den unterschiedlichen nationalen Verfahrensregelungen und Strahlenschutzsystemen des Herkunftslandes des Fremdpersonals und des Landes der kerntechnischen Anlage ergeben. Hierzu zählen beispielsweise die behördliche Anerkennung von ausländischen Strahlenpässen und anderen amtlichen und nichtamtlichen Informationen über Vordosen, Gesundheitsstatus oder Strahlenschutzausbildung.

3. METHODIK

3.1 METHODIK ZUR UNTERSUCHUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN

Der VGB (Generationentechnischer Fachverband der Energieanlagenbetreiber) und damit die deutschen Betreiber von Leistungsreaktoren sind zum 31. März 2016 aus ISOE ausgetreten. Die Betreiber sind trotz des Ausstiegs aus dem ISOE im Rahmen der jährlichen Berichterstattung an die Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) 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 gewonnenen Ergebnisse werden für die verschiedenen Themenbereiche in Berichten dokumentiert. Die in Abschnitt 2.3 ebenfalls angesprochene Zusammenarbeit mit dem Ausland wurde schwerpunktmäßig durch Teilnahme an Sitzungen und Veranstaltungen des ISOE als zentrale internationale Einrichtung zum beruflichen Strahlenschutz in Kernkraftwerken wahrgenommen. Aspekte der Optimierung wurden bei der Diskussion der Daten fortlaufend verfolgt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 UNTERSUCHUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN KERntechnischen ANLAGEN

Die Daten der kerntechnischen Anlagen eines Jahres wurden jeweils im Folgejahr in den Anlagen erhoben. Mit dem Austritt des VGB aus ISOE wurden 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 war. Für die Anlagen der Ver- und Entsorgung wurden standardisierte Datenerfassungsbögen genutzt, die im Rahmen der früheren Datenerfassungen mit diesen Anlagen abgestimmt wurden. Darüber hinaus wurden ergänzende Daten und Informationen erfasst und die jährlichen Betriebsberichte der Kernkraftwerke in Betrieb und Stilllegung ausgewertet.

4.2 UNTERSUCHUNG VON ASPEKTEN ZUM EINSATZ VON AUSLÄNDISCHEM FREMDPERSONAL

Es wurden insbesondere im Rahmen einer Literaturrecherche nationale und internationale Informationen zusammengetragen. Auf Grundlage der durchgeführten Literaturrecherche wurde der Status Quo internationaler und nationaler Entwicklungen anhand von Richtlinien, Empfehlungen und dem geltenden Recht in Deutschland dargestellt. Darüber hinaus wurden exemplarisch Genehmigungs- bzw. Aufsichtsbehörden sowie Betreiber von kerntechnischen Anlagen kontaktiert.

5. ERGEBNISSE

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

5.1 DATENERHEBUNG UND DOKUMENTATION

Die Daten zur beruflichen Strahlenexposition in deutschen Kernkraftwerken und Anlagen der Ver- und Entsorgung liegen nunmehr bis zum Jahr 2019 als langjährige Zeitreihen vor. Die entsprechend der Zielsetzung des Vorhabens zu erstellenden Berichte für die Jahre 2017 bis 2019 wurden für die Kernkraftwerke in Betrieb / Nachbetrieb und für die Kernkraftwerke in Stilllegung erstellt. Für die Anlagen der Ver- und Entsorgung wurden wie vorgesehen zwei kombinierte Berichte für die Jahre 2016 und 2017 sowie 2018 und 2019 verfasst. Aus Gründen des Datenschutzes stehen diese Berichte der Öffentlichkeit nicht zur Verfügung. Im Folgenden werden die Entwicklungen der Gesamt-Jahreskollektivdosis für die in Betrieb / Nachbetrieb und in Stilllegung befindlichen Anlagen sowie für die Anlagen der Ver- und Entsorgung dargestellt.

In Betrieb und Nachbetrieb befindliche Anlagen

Einen Überblick über die Entwicklungen der letzten Jahre zeigt Abbildung 1 zur Gesamt-Jahreskollektivdosis sowohl für das Eigen- (EP) als auch für das Fremdpersonal (FP). Nach einem deutlichen Abfall der Kollektivdosen in den Jahren 1995 bis 2001 schwanken in den Jahren 2001 bis 2010 vor allem die Einzelwerte für das Fremdpersonal von Jahr zu Jahr relativ stark. Dieser Verlauf ist maßgeblich durch den Revisionsrhythmus insbesondere der älteren DWR-Anlagen (Generation 2) bestimmt. Im Jahr 2009 führten die langandauernden Revisionen in zwei Druckwasserreaktoren der 2. Generation vor allem beim hierbei verstärkt eingesetzten Fremdpersonal zu einem entsprechenden Anstieg der Kollektivdosen. Infolge der kürzeren und im Umfang wieder reduzierten Revisionen dieser Anlagen im Jahr 2010 sanken die Werte sowohl für das Eigen- als auch für das Fremdpersonal wieder. Im Jahr 2011 ist eine weitere Reduktion der Kollektivdosen zu beobachten, was vor allem mit den Abschaltungen auf Grund

der 13. AtG-Novelle vom 6. August 2011 und dem vorangegangenen Moratorium vom 15. März 2011 zusammenhängt. Seitdem ist ein insgesamt fallender Trend bis zum Jahr 2019 zu beobachten.

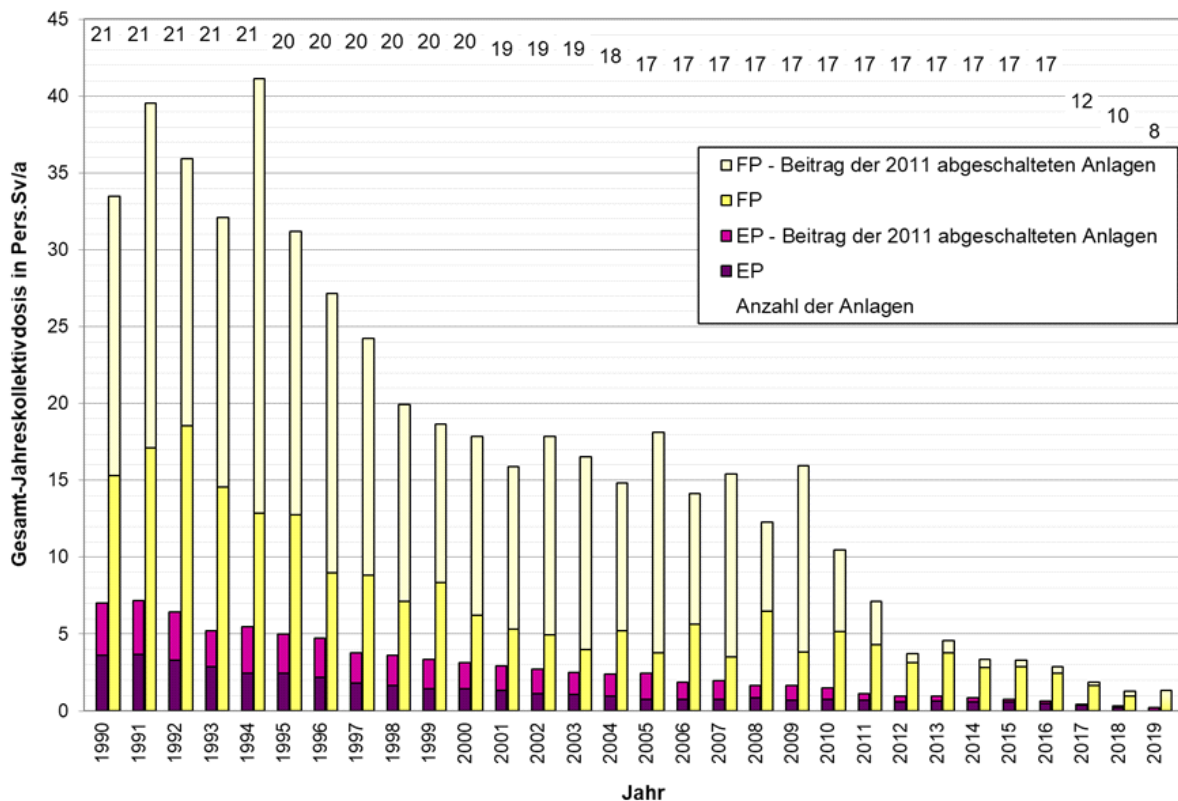


Abbildung 1: Gesamt-Jahreskollektivdosen des Eigen- (EP) und Fremdpersonals (FP) und Anzahl der in Betrieb und Nachbetrieb befindlichen Leistungsreaktoren (DWR und SWR).

Für das Jahr 2019 wurde der Anteil der nur noch einen sich in der Nachbetriebsphase befindlichen Anlage nicht mehr separat ausgewiesen.

In Stilllegung befindliche Anlagen

Die Übersicht über die Gesamt-Jahreskollektivdosen der letzten Jahre für die stillgelegten Anlagen ist in Abbildung 2 dargestellt. Eine Anlage gilt in diesem Sinne als in Stilllegung befindlich ab dem Zeitpunkt, an dem eine Stilllegungsgenehmigung erteilt wird. Als erstes Stilllegungsjahr gilt hierbei dasjenige Jahr, in dem sich die Anlage mehr als sechs Monate im obigen Sinne in Stilllegung befunden hat. Die acht Anlagen, die mit Inkrafttreten der 13. AtG-Novelle im Jahr 2011 ihre Berechtigung zum Leistungsbetrieb verloren, gelten in diesem Sinne nicht ab dem Jahr 2011 als in Stilllegung, sondern bis zum Jahr 2017 als im Nachbetrieb befindlich, da die ersten Stilllegungsgenehmigungen erst in diesem Jahr erteilt wurden.

Bis 1993 befanden sich nur vier Anlagen in Stilllegung. Der Anstieg der Gesamt-Jahreskollektivdosis in den Jahren 1994 und 1995 wird durch die zusätzlichen drei erstmalig berücksichtigten Anlagen dominiert. Der Rückgang 1996 beruht im Wesentlichen auf geringeren Dosisbeiträgen zweier Anlagen in diesem Jahr. Von 1998 bis 2003 wird die Gesamt-Jahreskollektivdosis im Wesentlichen durch vier Anlagen bestimmt.

Insgesamt sinkt die Gesamt-Jahreskollektivdosis von 1998 bis 2001 und steigt 2002 erstmalig wieder an. Gegenüber 2001 steigt die Gesamt-Jahreskollektivdosis von etwa 0,08 Pers.Sv/a auf 1,57 Pers.Sv/a im Folgejahr. Etwa 50 % der Gesamt-Jahreskollektivdosis 2002 gehen dabei auf die Tätigkeiten in einer Anlage zurück, die im Kontext des dort verfolgten zeitnahen direkten Abbaus der Anlage und des Anlagentyps sowie der Betriebszeit zu sehen sind. 2003 sinkt die Gesamt-Jahreskollektivdosis wieder gegenüber den Vorjahren auf 0,99 Pers.Sv/a und passt sich dem seit 1998, mit Ausnahme des Jahres 2002, anhaltenden Trends leicht sinkender Gesamt-Jahreskollektivdosen an. Wesentlich zur Abnahme der Gesamt-Jahreskollektivdosis trägt 2003 gegenüber 2002 die Reduktion in der Jahreskollektivdosis

einer Anlage um 0,54 Pers.Sv/a bei, die über die unterschiedlichen Arbeitsprogramme der Jahre 2002 und 2003 nachvollziehbar erscheint. Die Dosisbeiträge in den beiden Folgejahren bleiben bei den einzelnen Anlagen auf etwa gleichem Niveau, was sich auch in der Gesamt-Jahreskollektivdosis widerspiegelt.

In den Folgejahren 2006 und 2007 zeigt die Gesamt-Jahreskollektivdosis einen insgesamt steigenden Trend. Dieser wird verursacht sowohl durch die hinzukommenden Stilllegungen zweier Anlagen, die in den Jahren 2006 bzw. 2007 erstmalig beitragen, als auch durch die Arbeitsprogramme der anderen Anlagen.

In den Jahren 2007 bis 2014 zeigt sich dann wieder ein insgesamt fallender Trend. Dieser ist im Wesentlichen auf das Fortschreiten der Stilllegungsprojekte in zwei Anlagen zurückzuführen. Der Wegfall zweier Anlagen fällt auf Grund der schon vorher geringen Dosisbeiträge kaum ins Gewicht. Im Jahr 2010 fanden maßgebliche Arbeiten am RDB und den RDB Einbauten bei zwei Anlagen statt, weshalb in diesem Jahr die Kollektivdosis von dem fallenden Trend abweicht.

Für die Jahre 2015 und 2016 ergibt sich eine Stabilisierung der Jahreskollektivdosen auf dem Niveau des Vorjahres. In den Jahren 2017 und 2018 stieg die Jahreskollektivdosis erneut an - zunächst auf einen Wert von 0,74 Pers.Sv/a im Jahr 2017 und im Jahr 2018 auf 0,98 Pers.Sv/a. Der Grund hierfür liegt in sieben hinzukommenden Stilllegungen. Im Jahr 2019 setzt sich dieser steigende Trend der Jahreskollektivdosis auf Grund zweier weiterer hinzugekommener Anlagen weiter fort und erreicht einen Wert von 1,26 Pers.Sv/a. Die Summe der Kollektivdosen hängt dabei deutlich von der Höhe der Einzelbeiträge ab, die wiederum durch den jeweiligen Abbauschritt, den Abklingzeitraum, die Art und Geschwindigkeit des Abbaus sowie die radiologisch relevante Charakteristik der Anlage bestimmt wird.

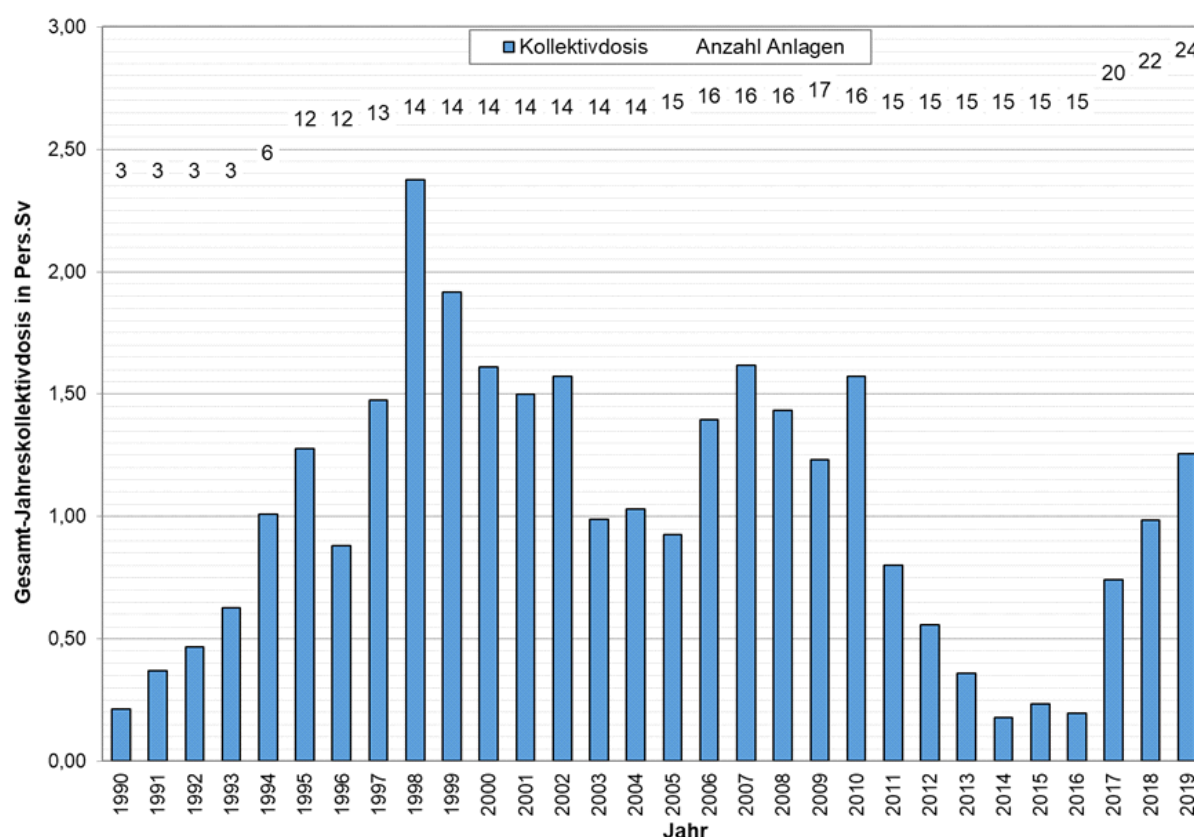


Abbildung 2: Gesamt-Jahreskollektivdosis und Anzahl der in Stilllegung befindlichen Anlagen.

In Abbildung 3 ist die Gesamt-Jahreskollektivdosis, aufgeteilt nach Eigen- und Fremdpersonal, dargestellt. Die oben genannte Reduktion der Jahreskollektivdosis in den Jahren bis 2014 zeigt sich sowohl für das Eigen- als auch für das Fremdpersonal. Generell besteht ein Einfluss durch ein Hinzukommen von in Stilllegung befindlicher Anlagen auf die Gesamt-Jahreskollektivdosis vor allem in den Jahren

1994, 1995, 1997, 1998, 2006, 2017, 2018 und 2019; dieser wird aber nur dann merklich, wenn die neu hinzugekommenen Anlagen einen nennenswerten Beitrag zur Gesamt-Jahreskollektivdosis liefern. So sind beispielsweise die Beiträge der beiden seit 1994 in Stilllegung befindlichen Anlagen so gering, dass sie als Beitrag im Vergleich zu den tätigkeitsbedingten Änderungen der Jahreskollektivdosisbeiträge der anderen Anlagen nicht relevant sind. Ein Wegfall von Anlagen aus der Betrachtung, wie 2010 und 2011, hat nur noch einen geringen Einfluss auf die Gesamt-Jahreskollektivdosis, da sich durch den Fortschritt des Stilllegungsprojekts das radioaktive Inventar in diesen Anlagen schon vorher deutlich reduziert hat.

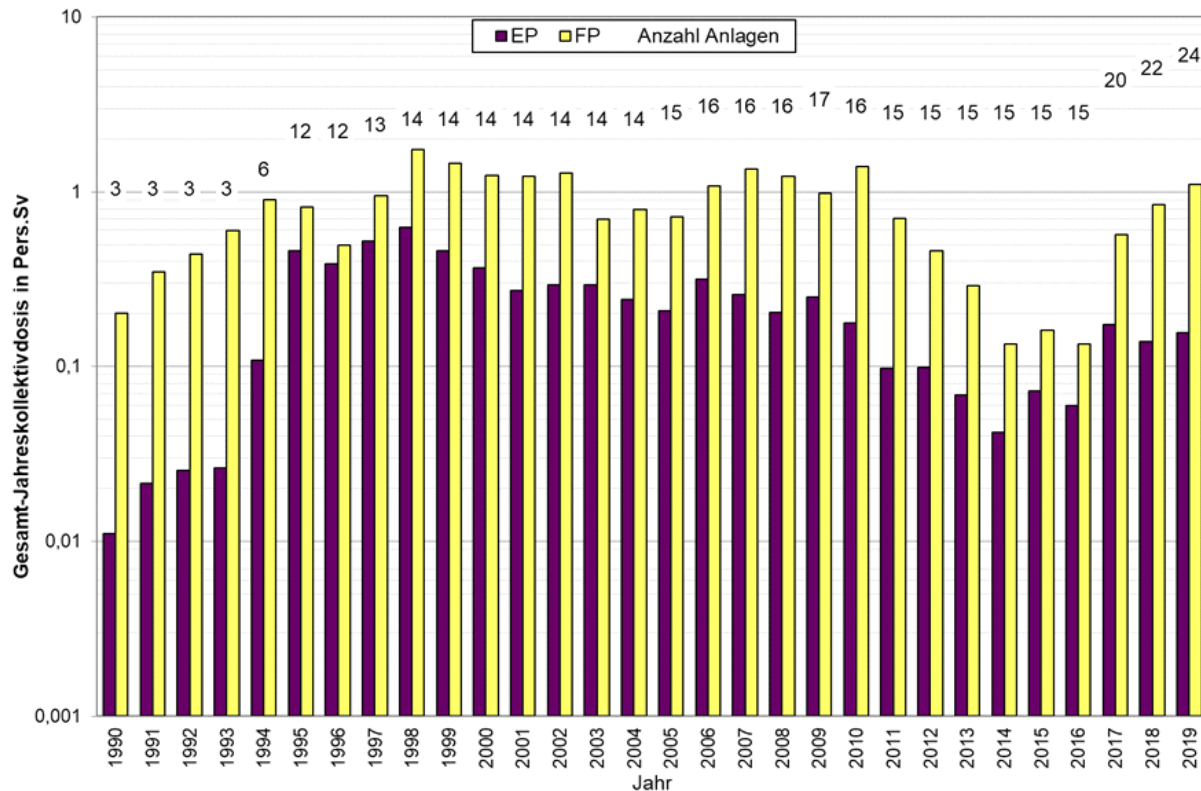


Abbildung 3: Gesamt-Jahreskollektivdosis des Eigen- (EP) und Fremdpersonals (FP) und Anzahl der in Stilllegung befindlichen Anlagen.

Anlagen der Ver- und Entsorgung

Im Gegensatz zur Dokumentation der Daten der Kernkraftwerke werden die Daten der in Betrieb befindlichen Anlagen und der stillgelegten bzw. diesbezüglich in Vorbereitung befindlichen Anlagen der Ver- und Entsorgung zusammengefasst dargestellt; damit werden Anlagen zur Brennelementherstellung, zur Urananreicherung, zur Lagerung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente sowie ein Endlager für schwach und mittelaktive radioaktive Abfälle berücksichtigt.

Abbildung 4 zeigt den Verlauf der Gesamt-Jahreskollektivdosis aller Anlagen seit 1994. Zu beachten ist hierbei, dass jahresabhängig die Anzahl der berücksichtigten Anlagen schwankt. Nach dem Abschluss der Rückbauarbeiten zweier Anlagen sind ab dem Jahr 2006 Kollektivdosen zu beobachten, die auf einem sehr niedrigen Niveau liegen. Die Schwankungen in den Jahren ab 2006 können auf unterschiedliche Tätigkeitsumfänge in den verschiedenen Anlagen zurückgeführt werden.

Der beschriebene Verlauf der Gesamt-Jahreskollektivdosis des Gesamtpersonals für alle Anlagen wird in den Jahren ab 2006 im Wesentlichen durch die Gesamt-Jahreskollektivdosis des Eigenpersonals bestimmt, welche im Vergleich zu der des Fremdpersonals deutlich höhere Werte aufweist (vgl. Abbildung 5). Die Gesamt-Jahreskollektivdosis des Fremdpersonals ist, hauptsächlich bedingt durch den Abschluss der Rückbauarbeiten zweier Anlagen im Jahr 2006, erheblich gesunken. Der Verlauf der Gesamt-Jahreskollektivdosis des Fremdpersonals nach 2006 wird dominiert durch eine Anlage, die die größte Anzahl des Fremdpersonals der hier betrachteten Anlagen stellt.

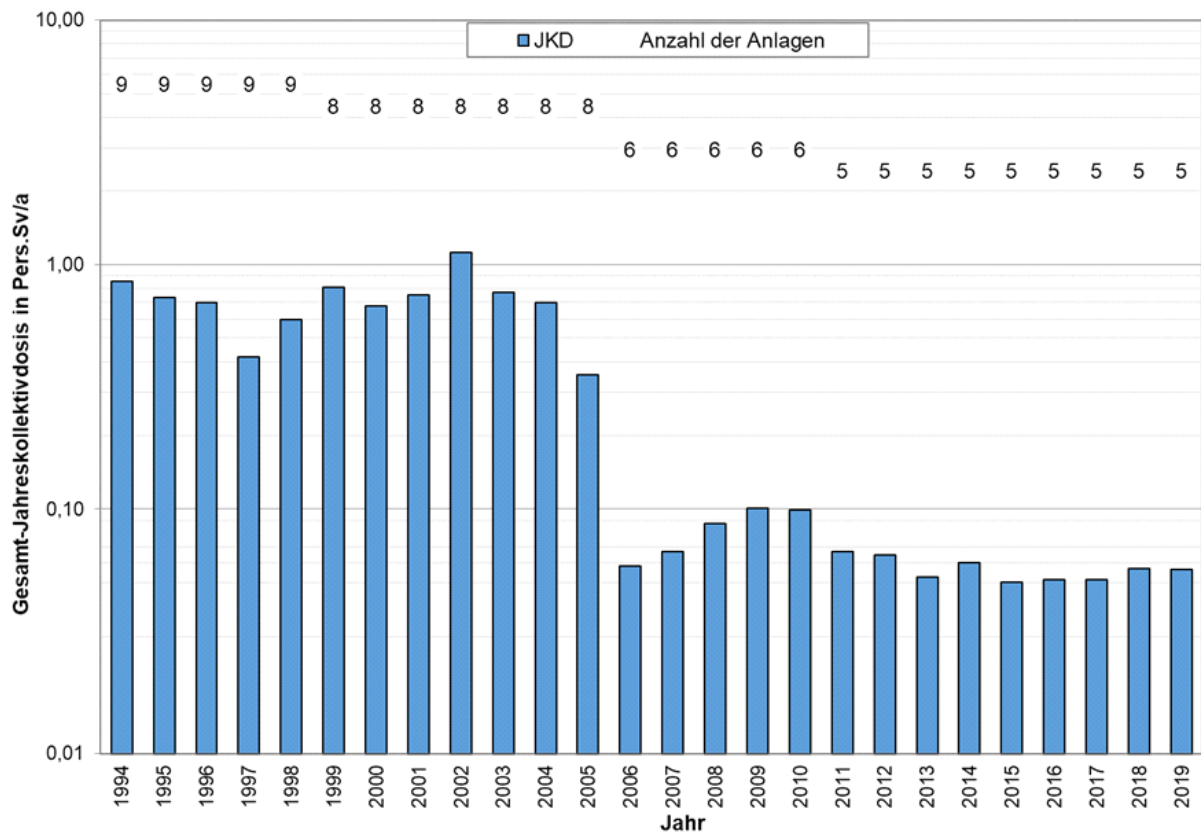


Abbildung 4: Logarithmisch dargestellte Gesamt-Jahreskollektivdosis und Anzahl der Anlagen der Ver- und Entsorgung.

Insgesamt ist festzustellen, dass für die letzten fünf Berichtsjahre die Gesamtkollektivdosen mit weniger als 50 Pers.mSv/a über alle betrachteten Anlagen im Vergleich zu den Kernkraftwerken niedrig sind. Somit tragen die Anlagen der Ver- und Entsorgung im Vergleich zu den Kernkraftwerken wenig zur Strahlenexposition des Personals in Deutschland bei.

5.2 DATENANALYSE

Entsprechend dem Ziel dieses Vorhabens wurden die vorliegenden tätigkeitsbezogenen Daten einer Auswertung unterzogen und im Rahmen der in Abschnitt 5.1 genannten Berichte dokumentiert.

5.3 OPTIMIERUNGSEMPFEHLUNGEN

Aspekte der Optimierung wurden bei der Diskussion der Daten sowie im Rahmen des nationalen und internationalen Informationsaustausches fortlaufend verfolgt. Der nationale und internationale Informationsaustausch erfolgte im Rahmen von Teilnahmen an nationalen Konferenzen und der Sitzungen und Veranstaltungen des ISOE und seiner Gremien, insbesondere des Management Boards (MB) und der WGDECOM. Schlussfolgerungen für Kernkraftwerke in Betrieb, Nachbetrieb und Stilllegung wurden im fachlichen Abschlussbericht detailliert beschrieben und werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

Für die Anlagen in Betrieb wurde bereits in den Vorgängervorhaben über Maßnahmen zur Reduktion der Dosisleistung insbesondere in älteren Anlagen der DWR mittels Programmen zur Dosierung von abgereichertem Zink berichtet. Durch die Zinkdosierung wird die Belegung der mit Kühlmittel benetzten Oberflächen mit Co-60 reduziert und damit die Dosisleistung in diesen Bereichen erniedrigt. Auch während des nunmehr abgeschlossenen Vorhabens setzten die Betreiber die Zinkdosierung mit entsprechenden Auswirkungen auf die Strahlenexposition des Personals fort; allerdings ist anzumerken, dass die Einflüsse auf der Ebene der Jahreskollektivdosen des Personals aufgrund weiterer Einflussfaktoren wie z. B. des Revisionsumfangs nicht ohne Weiteres direkt zu identifizieren sind. Als Indikatoren für den

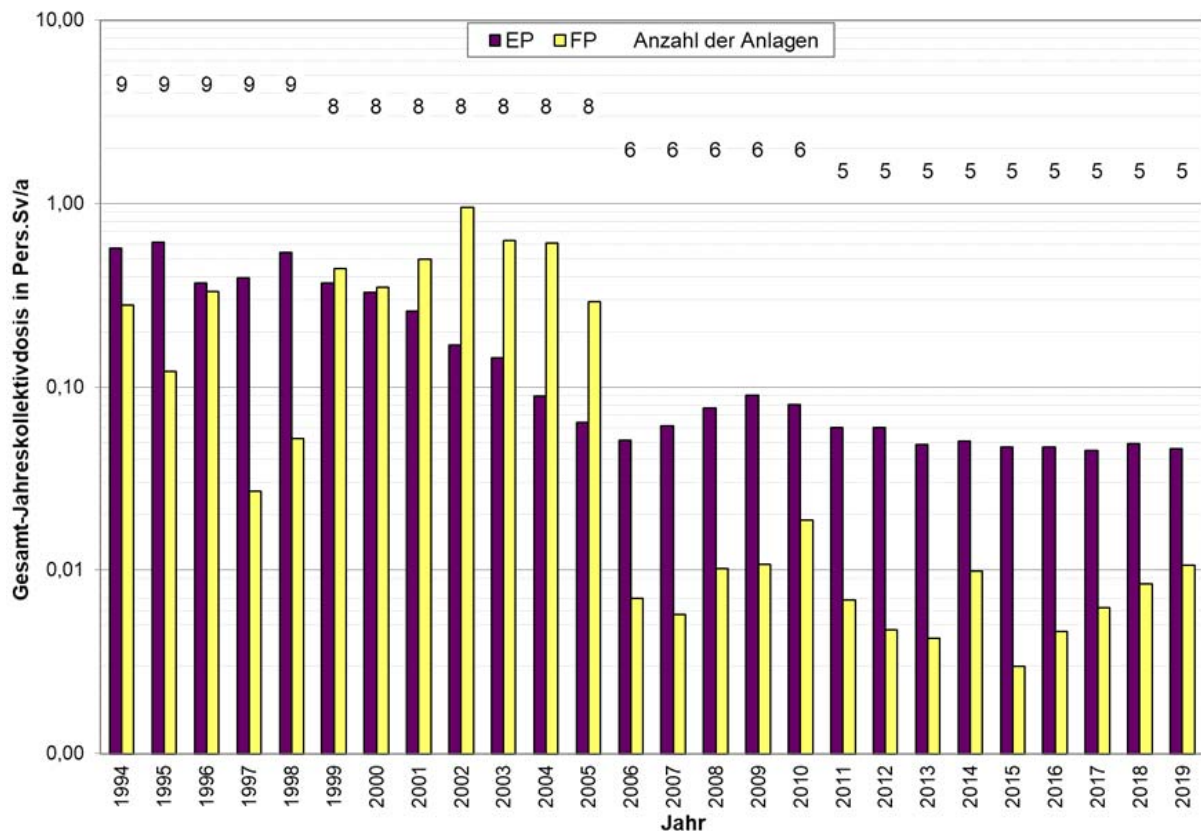


Abbildung 5: Logarithmisch dargestellte Gesamt-Jahreskollektivdosis des Eigen- (EP) und Fremdpersonals (FP) und Anzahl der Anlagen der Ver- und Entsorgung.

Erfolg werden daher vorwiegend Messungen der Dosisleistung an ausgewählten Messpunkten herangezogen.

Ebenfalls wurde in den Vorgängervorhaben bereits darüber berichtet, dass in den deutschen Anlagen das schrittweise Abfahren der Reaktoren vor einer Revision (so genannter „Soft Shutdown“) gängige Praxis ist, um die Ablösung von Ablagerungen an den Brennelementen („CRUD“) zu vermeiden, die ansonsten in die Primärkreislaufkomponenten eingetragen werden und zu zusätzlichen Dosisleistungen führen.

Während in der Vergangenheit in allen Anlagen eher Dekontaminationen von Teilsystemen durchgeführt wurden, haben in den letzten Jahren einige Anlagen damit begonnen, vollständige Systemdekontamination des Primärkreislaufes vorzunehmen. Hierdurch wird die Ortsdosisleistung während der aktuellen Revision, aber auch während zukünftiger Revisionen günstig beeinflusst. Planungswerte von mehreren Personen-Sievert werden hier als Dosisersparungen genannt. Hierbei ist zu beachten, dass die Funktionsfähigkeit aller Komponenten durch die bei der Dekontamination verwendeten Chemikalien nicht beeinflusst werden darf.

Im Zusammenhang mit der Systemdekontamination des Primärkreislaufes sei auf folgenden Aspekt hingewiesen: international wurde über Erfahrungen in Südkorea mit einer neuen Anlage berichtet, in der konsequent bereits vor der nuklearen Inbetriebnahme Zink dem Primärkreislaufmedium zugesetzt wurde. In dieser Anlage habe sich in den ersten Betriebsjahren ein Dosisleistungsniveau eingestellt, das demjenigen von DWR der 3. und 4. Generation vergleichbar sei, obschon die Auslegung nicht diesen Generationen entspreche.

Bezüglich des Einsatzes von Fremdpersonal in Kernkraftwerken in Betrieb kann festgehalten werden, dass von Mitte der 1990er Jahre bis etwa 2004 der Einsatz von Fremdpersonal kontinuierlich gesunken ist, während die Personenzahlen danach wieder leicht angestiegen sind. Bedingt ist dies u. a. durch umfangreichere Maßnahmen in einzelnen Kernkraftwerken. Zu befürchten war seinerzeit, dass mit der Abnahme des Fremdpersonals die Exposition des verbleibenden, noch eingesetzten Fremdpersonals ansteigen würde. Die mittleren Personendosen zeigen einen entsprechenden langfristigen Trend je-

doch nicht. Damit ergeben sich aus dem vorliegenden Datenmaterial zur anlagenbezogenen Strahlenexposition des Fremdpersonals nach wie vor keine Hinweise auf eine höhere Belastung des Fremdpersonals. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass das Datenmaterial keine Auskunft zur Exposition der einzelnen Personen des Fremdpersonals für ein Jahr erlaubt, sondern nur auf einzelne Anlagen bezogen ist.

In stillgelegten Anlagen werden bereits seit einigen Jahren systematisch umfassende Systemdekontaminationen durchgeführt, durch die das Dosisleistungsniveau nachhaltig verbessert werden kann. Im Vergleich zu Systemdekontaminationen bei Anlagen in Betrieb sind hierbei die sicherheitstechnischen Anforderungen im Allgemeinen geringer, so dass stärker abtragende Verfahren eingesetzt werden können.

Ebenfalls als Maßnahmen, auch des Strahlenschutzes, ist die Entnahme von unzerlegten Großkomponenten bis hin zu vollständigen Reaktordruckbehältern zu beobachten. Diese Vorgehensweisen erlauben die Zerlegung und Bearbeitung unter optimierten Bedingungen und stellen eine Möglichkeit zur Vermeidung von Strahlenexpositionen dar. Durch eine Abklinglagerung vor der weiteren Bearbeitung kann die Exposition bei der Zerlegung weiter verringert werden. Ob allerdings eine Strahlenexposition vermieden werden kann, ergibt sich nur aus der Analyse des Einzelfalles und hängt u. a. auch davon ab, ob fernhantiert zerlegt werden muss bzw. wird oder ob das Personal Zerlegearbeiten in unmittelbarer Nähe zur Komponente vornimmt. Eine datenmäßige Erfassung der Dosisersparnis ist allerdings auf Grundlage der derzeitigen Expositionsdaten nicht möglich. Einerseits liegen die Planungsdaten für eine in-situ Zerlegung nicht vor; andererseits wird die bei einer ex-situ Zerlegung anfallende Dosis nur dann im Dosimetriesystem des Anlagenbetreibers erfasst, wenn die Komponente am Standort zerlegt wird; bei langjähriger Zwischenlagerung über die Stilllegung hinaus oder bei Zerlegung in einer externen Anlage eines Dienstleisters findet die Dosis keinen Eingang in die Expositionsdaten der stillgelegten Anlagen.

5.4 EINSATZ VON AUSLÄNDISCHEM FREMDPERSONAL

Eine grundsätzliche Einschätzung und Identifizierung spezifischer Probleme bei der Umsetzung und Einhaltung des Strahlenschutzes beim Einsatz ausländischen Fremdpersonals in deutschen Anlagen ist auf Basis der unter 5.1 beschriebenen Datensammlung schwierig. In den zur Verfügung stehenden Expositionsdaten deutscher Anlagen wird lediglich zwischen Eigen- und Fremdpersonal unterschieden. Eine weitere Differenzierung hinsichtlich grenzüberschreitender Einsätze des Fremdpersonals bleibt jedoch aus. Anfragen an die Betreiber ergaben, dass die Expositionen des ausländischen Fremdpersonals nicht separat extrahiert werden können und alle externen Arbeitskräfte in der Kategorie „Fremdpersonal“ geführt werden.

Auf Grundlage der durchgeführten Literaturrecherche kann festgehalten werden, dass in den Anforderungen an den Strahlenschutz externer Arbeitskräfte zunächst keine Unterscheidung zwischen in- und ausländischem Personal vorgenommen wird. Dies gilt sowohl für die internationalen Vorgaben und Empfehlungen von der IAEA, HERCA (Heads of the European Radiological Protection Competent Authorities) und der europäischen Kommission als auch für die in Deutschland gültige Gesetzgebung. Auf spezifische Probleme bei dem Einsatz ausländischen Fremdpersonals wird allerdings u. a. in dem Safety Report Series Nr. 84 der IAEA eingegangen.

Eine Entwicklung, die u. a. auch insbesondere den Strahlenschutz ausländischer Arbeitskräfte in der EU sicherstellen soll, ist die Einführung von Mindestanforderungen an einen Strahlenpass und die Erarbeitung eines Modells für einen europäischen Strahlenpass von HERCA. Um dem Problem sprachlicher Missverständnisse vorzubeugen, ist darin z. B. die zweisprachige Ausstellung vorgesehen - in englischer Sprache sowie der jeweiligen Landessprache. Die Ergebnisse wurden im Rahmen eines separaten Schlussberichtes dokumentiert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Strahlenschutz ausländischen Fremdpersonals mit der generellen Verbesserung des Strahlenschutzes von externen Arbeitskräften deutlich optimiert werden konnte.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Für kerntechnische Anlagen in Deutschland wird die Erfassung von Informationen und Daten zur beruflichen Strahlenexposition, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der durchgeführten Tätigkeiten, im Rahmen des Folgevorhabens 3621S72350 für die Jahre 2020 bis 2022 weiter lückenlos fortgesetzt. Ebenso ist der nationale und internationale Erfahrungsaustausch insbesondere im Rahmen des ISOE sichergestellt. Für Deutschland kann damit mit der Abschaltung der letzten verbliebenen Leistungsblöcke Ende 2022 die gesamte Betriebsphase aller Reaktorlinien beurteilt werden. Der Schwerpunkt der weiteren Datenerfassung liegt auf der Stilllegung und dem Beginn des Rückbaus.

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

3619S72401

Beginn

01.12.2019

Ende

30.11.2021

Fördermittel

EUR 158.486,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Institut für Therapie- und Gesundheitsforschung IFT-Nord gGmbH, Kiel

Projektleitung

Prof. Dr. R. Hanewinkel

Fachbetreuung BfS

Dr. C. Baldermann / WR 4

verantwortlich für den Text

Prof. Dr. R. Hanewinkel,
Dr. B. Isensee

1. ZIELSETZUNG

Ziel dieses Vorhabens war eine repräsentative Bestandsaufnahme der in Deutschland vorhandenen verhältnispräventiven Vorkehrungen und Maßnahmen in Außenbereichen von Kindertagesstätten, Grundschulen, Schulen der Sekundarstufe I und II sowie in beruflich bildenden Schulen. Zur Eruiierung des Ist-Zustandes der deutschlandweit in Kindertagesstätten und Schulen vorhandenen Vorkehrungen zum Sonnenschutz wurde eine querschnittliche Online-Befragung konzipiert.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 FRAGEBOGENERSTELLUNG

Ein detaillierter Online-Fragebogen wurde erstellt, mit dem die Anzahl und Art (Bepflanzung, textiler Sonnenschutz, Überdachung etc.) der verhältnispräventiven Maßnahmen in den Außenbereichen der Einrichtungen, der erzielte Effekt wie das Ausmaß des Schattens, die Art der Finanzierung der Maßnahmen und eventuell damit verbundene Probleme, die Akzeptanz sowie Anregungen und Wünsche bezüglich bestehender oder weiterer verhältnispräventiver Maßnahmen bei den Kindern und Jugendlichen sowie den Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern erfasst werden sollten.

2.2 AUSWAHL DER EINRICHTUNGEN

Für die Befragung sollte ein für Deutschland repräsentativer Querschnitt von Kindertagesstätten und allgemein sowie beruflich bildender Schulen für Kinder und Jugendliche bis 18 Jahre erhoben werden. Dazu sollten maximal 10 % und minimal 1 % der Kindertagesstätten und der Schulen Deutschlands erfasst werden.

2.3 DURCHFÜHRUNG DER UMFRAGE

Die Einladung zur Beteiligung an der Befragung, Fristsetzungen für die Beteiligung und Erinnerungen an die Einladung wurden in zeitlich abgestufter Weise per E-Mail verschickt. Die eingegangenen Befragungsdaten wurden aufbereitet.

2.4 AUSWERTUNG UND BERICHT

Die Daten sollen statistisch ausgewertet werden, um zu folgenden Fragestellungen Aussagen treffen zu können:

- Wie hoch ist der Anteil an Einrichtungen mit verhältnispräventiven Maßnahmen im Außenbereich in Deutschland / in den einzelnen Bundesländern?

- Sind die etablierten Strukturen geeignet, die Außenbereiche der Einrichtungen zu den Aufenthaltszeiten der Kinder und Jugendlichen zu beschatten?
- Sind die Schattenbereiche zu den Aufenthaltszeiten der Kinder und Jugendlichen hinsichtlich der Größe der Einrichtung und der Anzahl an Personen in der Einrichtung ausreichend?

3. METHODIK

3.1 DESIGN

Epidemiologische Querschnittstudie mit zwei Stichproben.

3.2 SETTING

Kindertagesstätten (mit Betreuung von Kindern unter und über drei Jahren sowie Horte) und Schulen (Grundschulen, weiterführende Schulen sämtlicher Schularten, berufliche Schulen sowie Förderschulen) in allen 16 Bundesländern.

3.3 TEILNEHMER*INNEN

Leitungen von Kindertagesstätten und Schulen

3.4 ERHEBUNGSMETHODE

Online-Fragebogen, der mit der Software *Lime Survey* programmiert wurde (<https://www.limesurvey.com>). Der Online-Fragebogen enthielt geschlossene Fragen zu allgemeinen Charakteristika der Einrichtung, dem Außengelände und dessen Nutzung, den vorhandenen Sonnenschutzmaßnahmen, der Zufriedenheit mit den Maßnahmen und der Finanzierung der Maßnahmen. Am Ende gab es die Möglichkeit, in offenen Antwortfeldern positive Aspekte und Anregungen mitzuteilen und die Rolle des Sonnenschutzes in der Einrichtung zu beurteilen. Insgesamt umfasste der Fragebogen 92 Fragen. Die Bearbeitungsdauer betrug im Schnitt etwa 15 Minuten.

3.5 AUSWAHL DER STICHPROBEN

Mindestens 1 % aller Bildungseinrichtungen sollten für die Untersuchung rekrutiert werden. Aus der Grundgesamtheit aller Bildungseinrichtungen wurden je Bundesland zufällig jeweils 25 % der Kindertagesstätten bzw. Schulen ausgewählt, wobei bei den Kindertagesstätten nach Trägerschaft und bei den Schulen nach Schultyp stratifiziert wurde.

3.6 REKRUTIERUNG DER STICHPROBE

Die Einladung der Einrichtungen zur Studienteilnahme erfolgte per E-Mail. Erinnerungsmails erfolgten im Abstand von 7 bis 14 Tagen. In 14 Bundesländern wurde mit der ersten Zufallsauswahl der a priori festgelegte Mindestwert von 1 % der Schulen nicht erreicht und es wurden darum zusätzliche Schulen angeschrieben.

3.7 DATENMANAGEMENT

Die beiden Datensätze der Kindertagesstätten und Schulen wurden nach Aussortierung unvollständig ausgefüllter Fragebögen und doppelten Rückantworten zu einem gemeinsamen Datensatz zusammengefügt und zur Unterscheidung der beiden Stichproben die Variable Setting mit den Kategorien Kindertagesstätte und Schule eingeführt. In die Analytestichprobe wurden nur Einrichtungen einbezogen, die über einen Außenbereich verfügten.

3.8 STATISTISCHE METHODEN

Alle statistischen Analysen wurden mit dem Statistikprogramm Stata 17.0 durchgeführt (www.stata.com). Als deskriptive Statistiken wurden absolute und relative Häufigkeiten sowie als Maß der zentralen Tendenz Mittelwerte mit Standardabweichungen berechnet. Gruppenunterschiede wurden je nach Skalenniveau mit t-Tests, einfaktoriellem Varianzanalysen oder Chi²-Tests auf Signifikanz

überprüft. Beobachtete Signifikanzwerte von $p < 0,05$ wurden als statistisch signifikant betrachtet. Für den Vergleich der Stichprobe mit der Grundgesamtheit aller in Deutschland vorhandener Kindertagesstätten und Schulen wurden für die Kindertagesstätten Daten des Statistischen Bundesamtes und die Schullisten der 16 Bundesländer herangezogen. Um zu prüfen, ob sich die Charakteristika der Stichprobe von der Verteilung in der Gesamtpopulation unterscheiden, wurde ein χ^2 -Goodness-of-Fit-Test berechnet.

3.9 MATHEMATISCHE ABSCHÄTZUNG AUSREICHENDER BESCHATTUNG

Um den Anteil der Beschattung des Außengeländes insgesamt bestimmen zu können, wurde die angegebene Größe der jeweiligen baulich-technischen Maßnahme durch die im jeweiligen Fragebogen angegebene Größe des gesamten genutzten Außengeländes geteilt und schließlich zu den Schätzangaben der Befragten bezüglich des Schattenanteils durch Bepflanzung (mittags zwischen 11 und 15 Uhr) addiert. Zur Einordnung, inwieweit dieser beschattete Anteil der Außenfläche ausreichend für die in der Einrichtung betreuten Kinder bzw. Schüler*innen ist, wurde die beschattete Fläche in Relation zu einer Fläche gesetzt, welche benötigt wird, wenn alle Personen sich gleichzeitig draußen aufhalten und jede Person eine Fläche von 1 m^2 in Anspruch nimmt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 GENEHMIGUNGSVERFAHREN

In den Bundesländern, in denen eine zentrale Genehmigung einer wissenschaftlichen Studie an Schulen durch die Kultusbehörde obligatorisch ist, wurden vorab Anträge auf Genehmigung gestellt, die in allen Fällen positiv beschieden wurden.

4.2 PROZEDUR

Bei den zuständigen Landesbehörden wurden Listen mit allen Kindertagesstätten und Schulen des jeweiligen Bundeslandes angefragt. Auf Basis dieser Listen ergab sich eine Grundgesamtheit von insgesamt 54 912 Kindertagesstätten und 31 650 Schulen in Deutschland.

Aus der Grundgesamtheit aller Bildungseinrichtungen wurden je Bundesland zufällig jeweils 25 % der Kindertagesstätten stratifiziert nach Trägerschaft und 61 % der Schulen stratifiziert nach Schulart ausgewählt und per Mail zur Studienteilnahme eingeladen. Die Zufallsauswahl wurde mit dem Programm Microsoft Excel durchgeführt. Jeder Einrichtung wurde eine durch Excel generierte Zufallszahl zugewiesen, die Einrichtungen wurden anhand der Zufallszahl aufsteigend sortiert und die ersten 25 % der Einrichtungen wurden ausgewählt. Die Einladungs-Mail enthielt einen Link zum Online-Fragebogen; über ein Anklicken dieses Links gelangte man direkt zur Befragung. Die Datenerhebung fand für die Kindertagesstätten von Mai bis August 2020 und - Corona-bedingt um ein Jahr verschoben - für die Schulen von April bis Juli 2021 statt.

Als Anreiz zur Studienteilnahme wurden unter den teilnehmenden Kindertagesstätten per Zufall fünf Geldpreise à 2 000 Euro verlost und ausbezahlt. In der Stichprobe der Schulen wurde auf die Vergabe von Geldpreisen verzichtet, da es in vielen Bundesländern Schulen untersagt ist, für die Teilnahme an wissenschaftlichen Studien Geldpreise anzunehmen.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERREICHTE STICHPROBE

Für Kindertagesstätten lagen nach Ausschluss von unvollständigen Datensätzen oder Dopplern 1 042 Fragebögen vor, dies entspricht 1,9 % aller Kindertagesstätten in Deutschland. In dieser erreichten Stichprobe verfügten 98,8 % bzw. $N = 1 029$ Kindertagesstätten über einen Außenbereich. Für Schulen lagen nach Ausschluss von unvollständigen Datensätzen oder Dopplern 713 Fragebögen vor, dies entspricht 2,3 % aller Schulen in Deutschland. In dieser erreichten Stichprobe verfügten 94,3 % bzw.

N = 672 Schulen über einen Außenbereich. Die Analytestichprobe bilden alle 1.701 Bildungsstätten mit einem Außenbereich, deren Charakteristika in Tabelle 1 dargestellt sind.

Tabelle 1: Charakteristika der Analytestichprobe

Variable	Gesamt	Kitas	Schulen
Anzahl Einrichtungen	1 701	1 029	672
Einrichtungsart	N (%)	N (%)	N (%)
<i>Kindertagesstätten</i>	1 029 (60,5)		
<i>Schulen mit Primarstufe</i>	410 (24,1)		410 (61,0)
<i>Schulen ohne Primarstufe</i>	186 (10,9)		186 (27,7)
<i>Berufsschulen</i>	76 (4,5)		76 (11,3)
Schulart			
<i>Grundschule</i>			311 (46,3)
<i>Grund- und weiterführende Schule</i>			15 (2,2)
<i>Nichtgymnasiale weiterführende Schule</i>			91 (13,5)
<i>Gymnasium oder Schule mit gymn. Oberstufe</i>			102 (15,2)
<i>Förderschule</i>			67 (10,0)
<i>Berufsschule oder Berufsfachschule</i>			76 (11,3)
<i>Andere</i>			10 (1,5)
Anzahl Personen	M (SD)	M (SD)	M (SD)
<i>Kinder / Schüler*innen</i>	220,6 (438,7)	70,2 (51,4)	451,2 (629,2)
<i>Beschäftigte gesamt</i>	27,9 (31,0)	13,9 (8,7)	49,1 (39,5)
Trägerschaft	N (%)	N (%)	N (%)
<i>Frei</i>	739 (43,5)	671 (65,2)	68 (10,1)
<i>Öffentlich</i>	960 (56,4)	358 (34,8)	602 (89,6)
<i>Keine Angaben zu Trägerschaft</i>	2 (0,1)	0	2 (0,3)
Ortsgröße			
<i>Bis 100 000 Einwohner</i>	1 251 (73,5)	762 (74,1)	489 (72,8)
<i>Ab 100 000 Einwohner</i>	441 (25,9)	258 (25,1)	183 (27,2)
<i>Keine Angaben zur Ortsgröße</i>	9 (0,5)	9 (0,9)	0
	M (SD)	M (SD)	M (SD)
Größe Außengelände in m ²	1 997,1 (2 205,2)	1 478,0 (1 583,6)	2 822,4 (2 739,9)

N = Anzahl; **M** = Mittelwert; **SD** = Standardabweichung

5.2 VERGLEICH MIT DER GRUNDGESAMTHEIT

Keine systematischen Unterschiede zur Grundgesamtheit konnten bei der Teilstichprobe der Kindertagesstätten im Hinblick auf die Trägerschaft und bei der Teilstichprobe der Schulen im Hinblick auf die Schularten festgestellt werden. Aus diesem Grund kann die Stichprobe als repräsentativ angesehen werden.

5.3 UV-SCHUTZMAßNAHMEN IM AUßENBEREICH VON KINDERTAGESSTÄTTEN UND SCHULEN

Im Vergleich zu Schulen verfügten Kindertagesstätten bedeutsam häufiger über Sonnenschutzmaßnahmen im Außenbereich (99,1 % vs. 82,0 %; $\chi^2(1) = 168,7$; $p < 0,001$). In der Teilstichprobe der Schulen berichteten 83,7 % der Schulen mit Primarstufe, 78,5 % der Schulen ohne Primarstufe sowie 81,6 % der beruflichen Schulen über Sonnenschutzmaßnahmen im Außenbereich (vgl. Abbildung 1).

Bepflanzung wurde am häufigsten als Maßnahme genannt (89,2 %), Markisen am seltensten (17,0 %). Nahezu alle Arten von Maßnahmen waren in Kindertagesstätten signifikant häufiger vertreten als in Schulen. Eine Ausnahme bildeten bauliche Überdachungen, diese wurden von Kindertagesstätten signifikant seltener angegeben (40,2 %) als von Schulen (54,5 %; $\chi^2(1) = 29,3$; $p < 0,001$). Numerisch am seltensten hielten Schulen ohne Primarstufe UV-Schutzmaßnahmen vor (78,4 %).

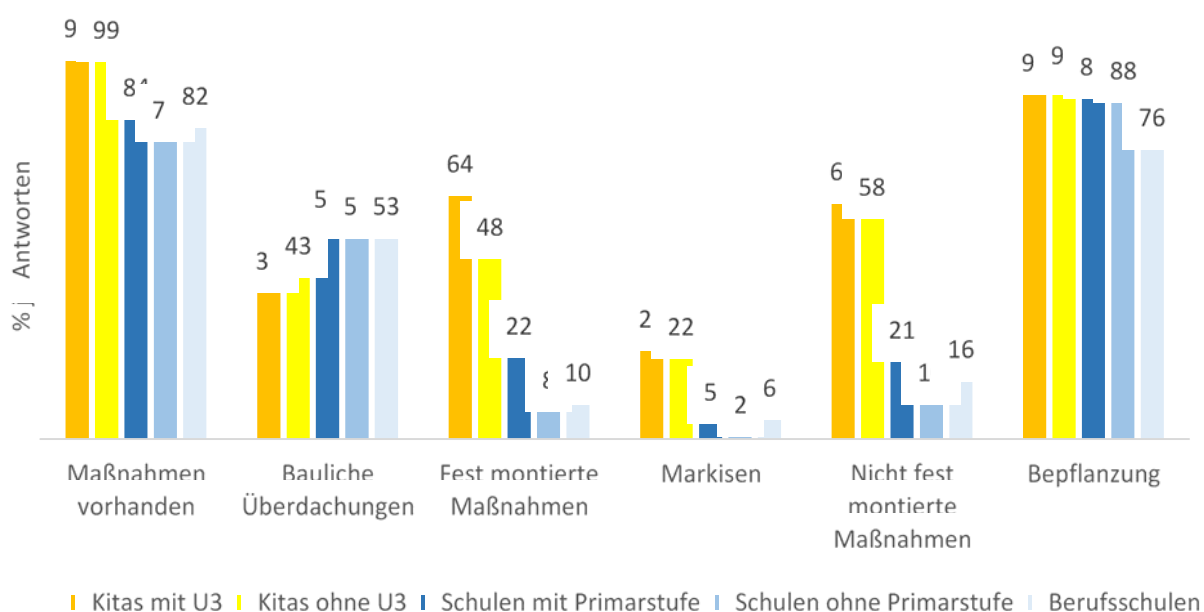


Abbildung 1: Vorhandensein verschiedener verhältnispräventiver Maßnahmen im Außenbereich, gegliedert nach Kindertagesstätten und Schulen.

5.4 BESCHATTUNG DES AUßENBEREICHS

Durchschnittlich 36,7 % des Außengeländes der Kindertagesstätten und Schulen waren beschattet. Schattenspendende Bepflanzung machte dabei mit 30,6 % einen deutlich größeren Anteil der Beschattung aus als baulich-technische Maßnahmen mit 6,4 %. Im Vergleich zu Schulen beschatteten Kindertagesstätten eine bedeutsam größere Außenfläche (Kitas 42,5 % vs. Schulen 26,0 %; $t(1499) = 13,6$; $p < 0,001$). In der Teilstichprobe der Schulen wurden 25,4 % der Außenfläche der Schulen mit Primarstufe, 24,5 % der Außenfläche der Schulen ohne Primarstufe sowie 33,0 % der Außenfläche der beruflichen Schulen beschattet (vgl. Abbildung 2).

Der Abgleich zwischen beschatteter Fläche und dem Flächenbedarf, wenn sich alle betreuten Kinder bzw. Schüler*innen gleichzeitig draußen aufhalten, ergab, dass insgesamt 22,1 % aller Einrichtungen keine ausreichenden Schattenflächen anbieten konnten, um allen Kindern bzw. Schüler*innen einen 1 m² großen Schattenplatz anbieten zu können. Für Schulen war das unzureichende Schattenangebot mit 45,3 % der Einrichtungen signifikant häufiger zu konstatieren als für Kindertagesstätten (10,1 %; $\chi^2(1) = 224,6$; $p < 0,001$). Knapp ein Drittel der Schulen mit Primarstufe, über 60 % der Schulen ohne Primarstufe und über 70 % der Berufsschulen verfügten nicht über so viel beschattete Fläche im Außenbereich, dass sich alle Schüler*innen gleichzeitig - z. B. in großen Pausen - im Schatten aufhalten können (vgl. Abbildung 3).

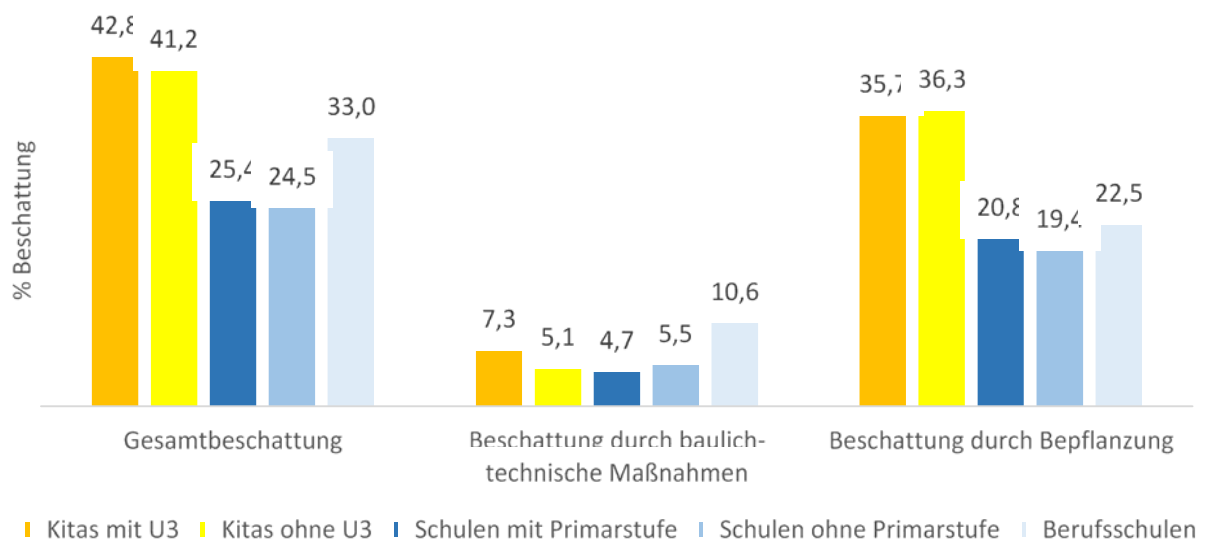


Abbildung 2: Beschattung des Außengeländes durch baulich-technische Maßnahmen bzw. Bepflanzung, gegliedert nach Kindertagesstätten und Schulen.

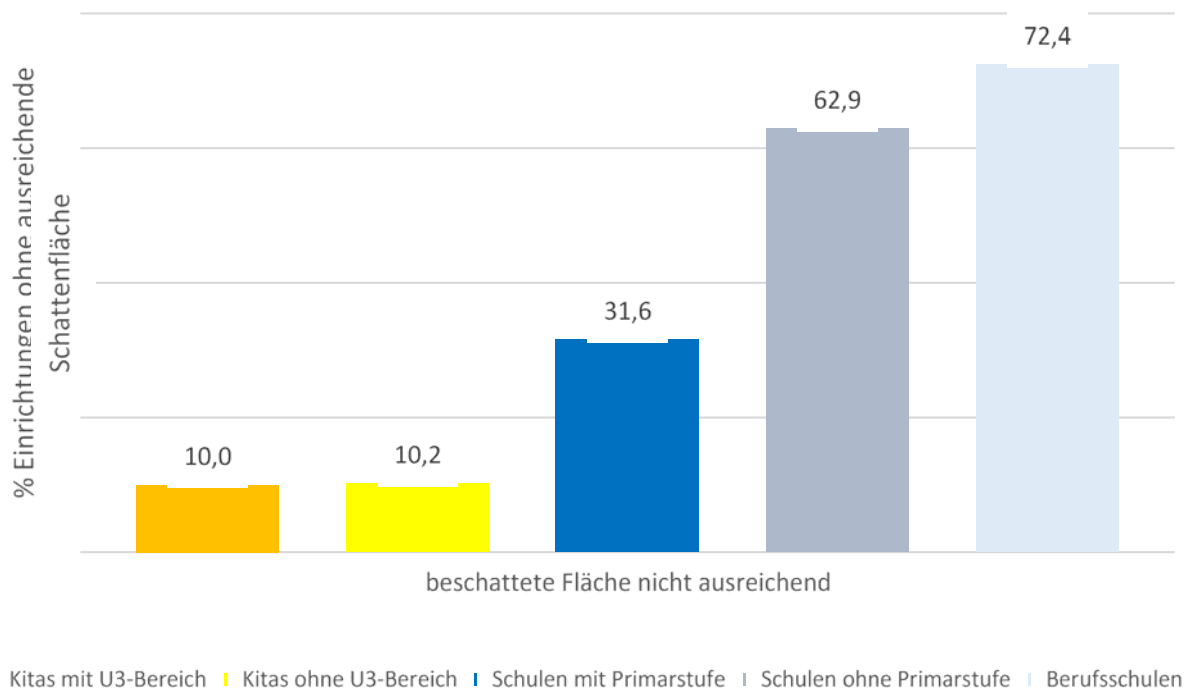


Abbildung 3: Ausreichen des beschatteten Anteils des Außengeländes bei Anwesenheit aller betreuten Kinder/Schüler*innen gleichzeitig (angenommen wird ein Platzbedarf von 1 m² pro Person), gegliedert nach Kindertagesstätten und Schulen.

5.5 AKZEPTANZ DER UV-SCHUTZMAßNAHMEN

Nach der Häufigkeit der Nutzung vorhandener Schattenplätze als einem Indikator für die Akzeptanz der Sonnenschutzmaßnahmen gefragt, gaben 79,6 % der Einrichtungen insgesamt eine häufige und 14,1 % eine gelegentliche Nutzung an (vgl. Tabelle 2). Die berichtete Nutzungshäufigkeit unterschied sich zwischen Kindertagesstätten und Schulen signifikant ($\text{Chi}^2(4) = 236,4$; $p < 0,001$), sie war in Kindertagesstätten höher als in Schulen.

Als weiterer Indikator für die Akzeptanz wurde die Zufriedenheit mit der Ausstattung des Außenbereichs hinsichtlich der Sonnenschutzmaßnahmen für die Kinder bzw. Schüler*innen sowie für die Beschäftigten erfragt, ebenfalls in Tabelle 3 dargestellt: 12,8 % der Einrichtungen waren sehr und 39,2 % eher zufrieden mit den vorhandenen Maßnahmen. In Kindertagesstätten war die Zufriedenheit signifikant höher als in Schulen ($\text{Chi}^2(3) = 115,5$; $p < 0,001$), wo ein knappes Viertel die Antwortoption „sehr unzufrieden“ wählte.

Tabelle 2: Nutzung und Zufriedenheit mit den Maßnahmen (angegeben sind gültige Prozente)

Variable	Gesamt	Kitas	Schulen
	%	%	%
Häufigkeit der Nutzung der Schattenplätze			
<i>Häufig</i>	79,6	90,8	62,3
<i>Gelegentlich</i>	14,1	8,7	22,3
<i>Selten</i>	2,6	0,4	6,0
<i>Nie</i>	0,7	0,1	1,5
<i>Das weiß ich nicht.</i>	3,1	0,0	8,0
Zufriedenheit mit der Ausstattung			
<i>Sehr zufrieden</i>	12,8	17,6	5,7
<i>Eher zufrieden</i>	39,2	43,0	33,5
<i>Eher unzufrieden</i>	33,3	30,4	37,8
<i>Sehr unzufrieden</i>	14,6	9,0	23,1

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens ermöglichen, den Ist-Zustand schattenspendender Maßnahmen zum Schutz vor hohen UV-Belastungen im Freien zu erfassen. Sie schaffen damit die Grundlage zur Evaluation der Etablierung dieser verhältnispräventiven Maßnahmen in Kindertagesstätten und Schulen. Die Ergebnisse bilden die Basis für den Aufbau einer Datenbank konkreter verhältnispräventiver UV-Schutz-Maßnahmen in den unterschiedlichen Einrichtungen für Kinder und Jugendliche (s. Grundsatzpapier des UV-Schutz-Bündnisses, S. 13; www.bfs.de/uv-grundsatzpapier) und dienen somit der Verbesserung der Versorgungssituation der Bevölkerung hinsichtlich UV-reduzierender verhältnispräventiver Maßnahmen. Die Forschungsergebnisse dienen der Aufgabenerfüllung des BMUV bezüglich des Schutzes der Bevölkerung vor den gesundheitlichen Folgen von UV-Strahlung und unterstützen die Entwicklung von Anpassungsstrategien an die Folgen des Klimawandels in Bezug auf die Klimawirkung „UV-bedingte Gesundheitsschäden“ (www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-5-Wirtschaft-Gesundheit).

Thema			
Erfassung des Umgangs der deutschen Bevölkerung mit Radon als Grundlage für Risikokommunikation und Stärkung des Schutzverhaltens			
Subject			
<i>Survey of the German population's dealing with radon as a basis for risk communication and strengthening of protective behavior</i>			
Kennzeichen 3620S72211	Beginn 01.11.2020	Ende 31.01.2022	Fördermittel EUR 129.579,-
Forschungs- / Auftragnehmer GIM - Gesellschaft für Innovative Marktforschung GmbH			
Projektleitung Dr. T. Jerković, A. Wachenfeld-Schell	Fachbetreuung BfS C. Pözl-Viol / St-RK	verantwortlich für den Text Dr. T. Jerković, A. Wachenfeld-Schell	

1. ZIELSETZUNG

Das Strahlenschutzgesetz sieht vor, die Gesundheit von Menschen in Gebieten mit hohen Radon-Vorkommen zu schützen. Vor diesem Hintergrund soll mit Hilfe einer empirischen Studie die Wahrnehmung von Radon in der Bevölkerung untersucht werden, um daraus geeignete Maßnahmen ableiten zu können, um die Aufmerksamkeit und Sensibilität der Bevölkerung für das Thema zu erhöhen. Um möglichst viel Input für eine effektive Kommunikation zu erhalten, wurden in einer kombinierten qualitativen und quantitativen Studie, der eine eingehende Literaturrecherche vorangestellt war, das Wissen zu Radon und möglichen Schutzmaßnahmen, die Risikowahrnehmung, Informationsverhalten und Handlungsintentionen untersucht. Außerdem wurde die Wirkung von Kommunikationsbausteinen auf die Handlungsintention untersucht.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zur Erreichung der Zielsetzungen wurden drei Arbeitspakete durchgeführt, die jeweils individuelle, aber aufeinander aufbauende Zielsetzungen verfolgten:

- eine Sekundäranalyse aktueller Studien im Themenbereich Einstellung zu Radon und Radon-Präventionsmaßnahmen mit Fokus auf zielführende Theorien, Methoden und Operationalisierungen für die empirische Erhebung,
- eine qualitative Primärerhebung zu einem tieferen Verständnis des Informationsverhaltens, Einstellungen und Handlungsintentionen in Bezug auf Radon und zur Gewinnung empirischer Erkenntnisse für die Entwicklung des quantitativen Erhebungsinstruments sowie die Auswahl geeigneter Stimuli für den quantitativen Test und schließlich
- eine für die das Internet nutzende deutschsprachige Wohnbevölkerung ab 18 Jahren repräsentative Online-Befragung zur Einstellung zu Radon und Radonprävention sowie zur Wirkung ausgewählter Kommunikationsbausteine zum Thema Radonprävention.

2.1 LITERATURRECHERCHE (AP 1)

Um die operative Umsetzung an den Erkenntnissen der aktuellen Forschung auszurichten, wurde eine umfassende Sekundäranalyse einschlägiger nationaler und internationaler (englischsprachiger) Quellen zu den für die Studie relevanten Themenfeldern „Wahrnehmung von Radon“, „Risiko-Wahrnehmung“, „Selbstwirksamkeit“ und weitere Ansätze der Gesundheitspsychologie und gesundheitlichen Präventions- und Interventionsforschung durchgeführt und dokumentiert.

Die Recherche sollte zwei wesentliche Ergebnisse liefern:

- Dokumentation: Verzeichnis der für die aktuelle Studie relevanten Quellen
- Evaluation: Inhaltliche Auseinandersetzung mit den Quellen in Hinblick auf:
 - Fragestellungen: Welche Themen wurden erforscht?
 - Methoden: Welches Forschungsdesign wurde angewendet (v.a. Erhebungsmethoden, Stichprobe, Analyseverfahren)? Wie wurden die Fragestellungen operationalisiert?
 - Ergebnisse: Welche Befunde zeigen die Studien und welche Erkenntnisse wurden daraus abgeleitet?
 - Limitationen: Wo gab es methodische und inhaltliche Einschränkungen?
 - Ableitungen: Anregungen und Übertragbarkeit auf die Forschungsfragen der aktuellen Studie

Auf dieser Basis wurden sowohl für die qualitative wie auch die quantitative Untersuchung methodische Ansätze für die Ausgestaltung des aktuellen Forschungsvorhabens empfohlen.

2.2 QUALITATIVE ERHEBUNG (AP 2)

Die qualitative Erhebung hatte zum einen das Ziel, empirischen Input für die Entwicklung des quantitativen Fragebogens zu generieren. Zum anderen sollte sie durch die tiefergehende Exploration empirische Anhaltspunkte für Heuristiken, Argumentations- und Abwägungsmuster bei Radon-Laien liefern.

Die Auswahl der Stimuli erfolgte beispielhaft nach dem Prinzip der Vielfalt, um möglichst viele unterschiedliche Kommunikationsarten zu besprechen und auf ihre aktivierende und deaktivierende Wirkung hin zu untersuchen. Im Mittelpunkt der qualitativen Befragung standen folgende Aspekte:

- Wahrnehmung und Wissen zu Radon und Radonrisiken
- Inwieweit ist Radon als Gesundheits- und Strahlenschutzthema bekannt?
- Wie reagieren die Probanden auf die Information, dass Radon Lungenkrebs verursacht?
- Einstellungen und Wissen zu Präventionsmaßnahmen
- Wie reagieren die Probanden auf die Information, dass Radon überall sein kann, dass man die persönliche Situation am besten durch Messungen einschätzen kann und dass Maßnahmen (sowohl einfache als auch komplexe) gegen zu hohe Radonkonzentrationen ergriffen werden können?
- Inwieweit haben die Befragten bereits Erfahrung (eigene oder von Bekannten/Verwandten) mit Maßnahmen gegen zu hohe Radonkonzentration in Innenräumen gemacht?
- Welche Handlungsbereitschaft und Verhaltensintention drücken Probanden aus, Radon messen zu lassen oder etwas gegen Radon zu unternehmen?
- Welche Gründe führen die Probanden an, dass das Thema für sie nicht relevant ist und sie auch nach diesem Gespräch nichts unternehmen werden?

2.3 QUANTITATIVE UMFRAGE (AP 3)

Um die Erkenntnisse der qualitativen Untersuchung auf eine breite und repräsentative Basis zu stellen, galt es eine für die deutsche Wohnbevölkerung ab 18 Jahren repräsentative Untersuchung durchzuführen, die den Kenntnisstand zu Radon erfasst und aufzeigt, wie ausgeprägt die Risikowahrnehmung ist, welche Handlungsmotivationen und Handlungsbarrieren vorliegen und mit welchen Kommunikationsmitteln bei welchen Zielgruppen ein positiver Effekt auf die Handlungsbereitschaft bewirkt werden kann. Vor diesem Hintergrund ist die Untersuchung repräsentativ für die das Internet nutzende deutschsprachige Wohnbevölkerung ab 18 Jahren.

3. METHODIK

3.1 LITERATURRECHERCHE

Die Literaturrecherche erfolgte in drei Schritten: Suchen (1.), Erfassen (2.) und Verwerten (3.), wobei der letzte Punkt der konkreten Umsetzung und Übertragung auf AP 2 und AP 3 entspricht und daher unter dem Punkt „Durchführung“ dargestellt wird.

1. Die Suche der Quellen erfolgte nach wissenschaftlich bewährten Recherche-Logiken:
 - Definition der Themenfelder und Umsetzung in Schlagwörter, z. B. Risikowahrnehmung + Radon, Radonwahrnehmung, Risikokommunikation + Radon
 - Identifikation relevanter Ansätze, Institutionen, Publikationsmedien und Forscherteams
 - Kombination aus Schlagwort, Autoren und Institutionen basierte Suche in einschlägigen Verzeichnissen und Fachportalen, z. B. Google Scholar, DORIS, Uni-OPAC, Seiten von Universitäten, Forschungsinstitutionen, Ministerien und Organisationen (Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung; Fokus Suchtprävention/Risikokommunikation u. a.).
 - Auswahl deutsch- und englischsprachiger Quellen schwerpunktmäßig ab 2000
 - Inhaltliche Fokussierung der Literaturlauswahl auf Studien mit Bezug zu allgemeiner Risiko-Wahrnehmung oder Radon-Wahrnehmung in der Bevölkerung oder Bevölkerungsgruppen sowie Kommunikation- und Präventionsmaßnahmen, bezogen auf die Bevölkerung bzw. spezifische Bevölkerungsgruppen.
 - Ausgeschlossen wurden Studien oder Reviews ohne empirischen Bezug bzw. ohne Bezug auf operationalisierbare Konstrukte, Untersuchung aus der Zeit deutlich vor 2000 sowie Studien mit einer sehr eingeschränkten Zielgruppe (z. B. nur Hausbesitzer).
2. Erfassen: Die systematische Erfassung relevanter Literatur hatte den Schwerpunkt auf empirischen Primär- und Metastudien zu theoretischen und methodischen Ansätzen und deren Operationalisierung, die in wissenschaftlich anerkannten Journals publiziert wurden. Dabei lag der Fokus auf der empirischen Umsetzung und Prüfung von Frageformaten, Designs, auf verwendeten Theorien und Ansätzen sowie empirischen Befunden zur Wahrnehmung von Radon und Radonrisiken sowie möglicher Erklärungsfaktoren (z. B. Soziodemographie etc.).

3.2 QUALITATIVE ERHEBUNG

Im April 2021 wurden insgesamt 30 Interviews von je 1,5 Stunden Dauer in Dresden, Berlin und München sowie zwei 2,5-stündige Fokusgruppen mit je 8 Teilnehmerinnen und Teilnehmern in Dresden und Berlin durchgeführt. Corona-bedingt wurden die Interviews und die Gruppendiskussionen online durchgeführt.

Die Einzelgespräche und Fokusgruppen wurden mit dem methodischen Ansatz einer zunächst sehr offenen und teils verdeckten Exploration erforscht, gefolgt von sukzessiver Konfrontation mit dem Thema Radon und iterativer Exploration hinsichtlich spontaner Wirkung (aktivierende/deaktivierende Elemente), Verständnis, individuelle Risikoeinschätzung und Handlungsbereitschaft. Dabei wurden Stimuli in Form von Texten mit Abbildungen, Filmclips und Karten verwendet.

Inhaltlich lag der Schwerpunkt der Einzelinterviews auf dem individuellen Kenntnisstand, den persönlichen Heuristiken der Risikoeinschätzungen in Bezug auf Radon sowie Motivationen und Barrieren im Hinblick auf präventive Schutzmaßnahmen. Darüber hinaus wurden die aktivierende bzw. deaktivierende Wirkung unterschiedlicher Kommunikationsformen, Begrifflichkeiten und Gestaltungselemente getestet.

Der inhaltliche Schwerpunkt der Fokusgruppen lag zum einen auf der gemeinsamen Auseinandersetzung mit dem Thema und möglichen Gruppeneffekten, zum anderen auf der detaillierten Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Kommunikationsmaterialien, die in der Gruppe diskutiert wurden. Ziel war auch hier, anhand ausgewählter Stimuli, die Wirkung unterschiedlicher Kommunikationsformen, Begrifflichkeiten und Gestaltungselemente zu untersuchen.

3.3 QUANTITATIVE ERHEBUNG

Die Erhebung wurde als Online-Befragung konzipiert und der Fragebogen an die spezifischen Anforderungen der Methode angepasst. In einem Vorversuch wurde das Erhebungsinstrument auf seine Verständlichkeit und die Befragungslänge hin geprüft.

Die Grundgesamtheit der Befragung war die deutschsprachige Bevölkerung ab 18 Jahren, die zu privaten Zwecken das Internet nutzt. Die Auswahlgesamtheit der Stichprobe war ein ISO zertifiziertes Online-Access-Panel, das seine Teilnehmer aktiv rekrutiert. Dieses wurde bewusst gewählt, um Selbstselektionseffekten entgegenzuwirken. Die Merkmale Alter, Geschlecht, Bildung und Bundesland wurden als Quotenmerkmale definiert und für die Randverteilung als Referenzdaten die aktuelle amtliche Statistik verwendet (Internetnutzer, die in den letzten 3 Monaten das Internet genutzt haben). Insgesamt wurden 3 000 vollständige Interviews durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 LITERATURRECHERCHE

Ziel der inhaltlichen Auseinandersetzung mit der oben genannten Forschungsliteratur war die Gewinnung konkreter Impulse und Anregungen zu folgenden Aspekten:

- Die Erhebungsmethode der vorliegenden Studie: Stärken und Schwächen bereits genutzter Designs, potenzielle Übertragbarkeit
- Die Definition der qualitativen Stichprobe: potenzielle Rekrutierungskriterien für die Stichprobe der qualitativen Erhebung
- Potenziell relevante Erklärungsfaktoren, die in der quantitativen Erhebung mitberücksichtigt werden sollen

Nach Prüfung der Verwertbarkeit wurden die identifizierten Ansätze in die Erhebungsinstrumente aufgenommen und bei der Rekrutierung der Stichproben berücksichtigt.

4.2 QUALITATIVE ERHEBUNG

Die Auswahl der Studienteilnehmer*innen erfolgte anhand eines Screening-Fragebogens. Die 30 Teilnehmer*innen der online geführten Einzelinterviews sowie die 16 Teilnehmer*innen der Online-Gruppendiskussionen wurden mit dem Ziel einer möglichst großen Heterogenität der Stichprobe ausgewählt. Insbesondere für folgende Merkmale wurde auf eine gute Mischung geachtet:

Regionale Betroffenheit:

- 30 Interviews mit je 1/3 der Personen aus Regionen mit hoher vs. mittlerer vs. geringer Radon-Konzentration
- 10 Befragte aus dem Dresdner Raum (hohe Radon-Konzentration)
- 10 Befragte aus dem Münchner Raum (mittlere Radon-Konzentration)
- 10 Befragte aus dem Berliner Raum (geringe Radon-Konzentration)
- 2 Gruppendiskussionen mit jeweils 6 Teilnehmer*innen
- 1 Gruppe aus dem Dresdner Raum (hohe Radon-Konzentration)
- 1 Gruppe aus dem Berliner Raum (geringe Radon-Konzentration)

Pro Region wurden die Teilnehmer*innen jeweils nach folgenden Vorgaben ausgewählt:

- Guter Altersmix zwischen 18 und 70 Jahren
- 50 % Frauen und 50 % Männer
- Mix aus Stadt und ländlichen Regionen
- Menschen mit und ohne Migrationshintergrund

- Mix aus Bildungsstand und Berufsgruppen (Ausschluss von Architekten sowie Personen, die beruflich mit Radon/Radonrisiken zu tun haben)
- Berufliche Hintergründe: 50 % mit und 50 % ohne naturwissenschaftlichem/technischem Hintergrund
- Haushaltseinkommen unter und über Bundesdurchschnitt
- Mix aus Befragten mit und ohne Kinder im Haushalt
- Menschen, die zur Miete oder in eigener Immobilie wohnen
- Mix bzgl. Gesundheitsbewusstsein und Bewusstsein für gesundheitliche Risiken
- Personen mit hohem und Personen mit geringem Vertrauen in staatliche Institutionen
- Personen, die meinen, sich mit Radon auszukennen und solche, die meinen, sich nicht auszukennen.

In der Interviewsituation wie auch in der Gruppendiskussion wurden die Befragten alle zunächst offen nach ihrem Wissen und ihren Einschätzungen zu Radon und zum Risiko durch Radon befragt. Im Laufe des Interviews bzw. der Diskussion in der Gruppe wurden dann sukzessive Informationsmaterialien zu Radon vorgelegt und die Reaktionen der Befragten darauf getestet. Hierbei ging es um das Verständnis der Materialien. Es wurde aber auch nach der persönlichen Risikoeinschätzung und möglichen Veränderungen in dieser Einschätzung gefragt. Dadurch ließ sich zum einen das Aktivierungspotenzial spezifischer Kommunikationsmaßnahmen qualitativ testen. Zum anderen war es möglich, die Lernkurve und mögliche Einstellungsänderungen im Laufe des Interviews zu beobachten.

4.3 QUANTITATIVE ERHEBUNG

Auf Basis der Erkenntnisse aus AP 1 und AP 2 wurde das Erhebungsinstrument für die Quantifizierung entwickelt. Leitend für die Operationalisierung war die Aufgabenstellung, den Kenntnisstand in Bezug auf Radon und mögliche Schutzmaßnahmen sowie die Risikoeinschätzung im Kontext zu anderen Risiken zu ermitteln und mögliche Ansätze zur Steigerung der Beschäftigung mit dem Thema zu identifizieren. Darüber hinaus galt es, mögliche Motivatoren für Präventionsmaßnahmen zu identifizieren und Barrieren zu erkennen, um auf dieser Basis Kommunikationsbausteine für eine Erhöhung der potenziellen Messbereitschaft zu erarbeiten. Hierfür wurde zusätzlich ein Choice Based Conjoint-Modell eingebunden, um unterschiedliche Informationsbausteine in Kombination testen zu können. Die Methode wurde gewählt, da sie ein bewährtes Instrument zur Messung von Präferenzen und zur Abbildung des Wahlverhaltens in komplexen Entscheidungssituationen darstellt.

Die durchschnittliche Fragebogenlänge betrug 21,5 Minuten. Insgesamt wurden 3 000 vollständige Interviews im Zeitraum vom 17.10. bis 31.10.2021 durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

5.1 LITERATURRECHERCHE

Nachfolgend werden die Konzepte und Untersuchungen dargestellt, die in der aktuellen Untersuchung berücksichtigt oder adaptiert wurden:

- Sorge um die eigene Gesundheit (Riesenfeld et al. 2007); Sorge um die Gesundheit der eigenen Kinder (Lipovi et al. 2015, Riesenfeld et al. 2007) bzw. Familie (Khan & Chreim 2019)
- Verständnis, Gesundheitsbewusstsein, Bekannte mit Lungenkrebs, eigene finanzielle Ressourcen (Khan & Chreim 2019)
- Generelle Verarbeitungsheuristiken, die sich positiv auswirken bzw. für positive Stimulation nutzen lassen: Wahrgenommene Selbstwirksamkeit (Bandura 1982), Vertrauen in Institutionen oder Personen (Zwick et al. 2002)
- Soziale Normen im Hinblick auf Lebensstil, Gesundheits- und Risikoverhalten der Umgebung (Reisch & Sunstein 2017).

- Werteorientierung/Psychographische Merkmale (Schütz & Wiedemann 2000). Umsetzungen sind u. a. Generalized Opinion Leadership oder Need for Cognition (Die Erklärungsstärke von Werteorientierung wird jedoch von Zwick et al. 2002 als eher gering eingeschätzt.)
- „Teachable moments“, d. h. spezielle Lebenssituationen/Schlüsselmomente, in denen Maßnahmen zur Verhaltensänderung besonders effektiv sein können (z. B. Schwangerschaft, spezielle Diagnosen/Krankheitserfahrungen) (z. B. Hahn et al. 2019)
- Risikoeinschätzung im Vergleich (z. B. Weinstein 1988)

Auf Basis der Literaturrecherche wurde ein Studiendesign ausgewählt, das die Radoneinstellungen sowohl bei der qualitativen als auch bei der quantitativen Untersuchung auf drei Ebenen erhebt. Diese drei Ebenen sind:

- die Wahrnehmung des Radonrisikos, welche den Kenntnisstand zu Radon und die mit Radon verbundenen Gesundheitsrisiken umfasst,
- die Bewertung des Radonrisikos, d. h. die persönliche Einschätzung der Gefährlichkeit von Radon für die Gesundheit sowie
- die Verhaltensintention, d. h. die bekundete Bereitschaft, sich mit dem Thema Radon weiter zu beschäftigen, eine Radonmessung durchzuführen und ggf. weitere Präventionsmaßnahmen durchzuführen.

5.2 QUALITATIVE UNTERSUCHUNG

Die qualitativen Ergebnisse zeigen, dass die Beschäftigung mit dem Thema Radon sowohl in Einzelinterviews als auch in der Gruppe zu einer deutlichen Sensibilisierung für das Risiko von Radon führt, auch wenn das Risiko weiterhin als eher gering eingestuft wurde.

Die in der zweiten Hälfte des Interviews gezeigten Kommunikationsmaterialien wirkten oft zunächst aktivierend bzgl. der Risikowahrnehmung. Befragte suchen nach Informationen, um die persönliche Relevanz des Themas abzuschätzen. Jedoch zeigte sich auch, dass die Kommunikationsmaßnahmen nicht alle gleichermaßen aktivieren, sondern einige teils auch beruhigen können und damit eher deaktivierend wirken.

Angesichts der geringen vorhandenen Sensibilität für das Thema Radon muss Aufklärung einen längeren und teilweise auch iterativen Prozess bei den Adressaten durchlaufen: Von der ersten Sensibilisierung für das Thema über eine realistische Abschätzung des persönlichen Risikos bis hin zur Aktivierung von präventiven Maßnahmen. Daher sollte Kommunikation strategisch mehrgleisig erfolgen und auf Wiederholung und Vertiefung setzen. Um dem jeweiligen Kenntnisstand und der jeweiligen Handlungsbereitschaft der Adressaten Rechnung zu tragen, sollten konkrete Kommunikationsmaßnahmen und Materialien idealerweise auf das jeweilige Aktivierungsstadium der Zielgruppe ausgerichtet sein und die Lebensphasen bzw. Situationen adressieren (Familiengründung, Hausbau/Renovierung oder Hauskauf etc.). Das Bundesamt für Strahlenschutz ist ein inhaltlich nachvollziehbarer Absender, dem als öffentliche Behörde und auf Grund seines Namens hohe Sachkompetenz und hohe Glaubwürdigkeit zugeschrieben wird.

5.3 QUANTITATIVE UNTERSUCHUNG

Insgesamt liegt die gestützte, namentliche Bekanntheit von Radon nach einer kurzen Erklärung („Radon ist ein natürliches Gas, das in Gesteinen und im Boden in unterschiedlichen Konzentrationen auch in Deutschland vorkommt. Radon kann sich in Häusern, vor allem im Keller und den unteren Geschossen anreichern und bei entsprechender Konzentration über einen längeren Zeitraum Lungenkrebs verursachen.“) mit insgesamt 65 % relativ hoch. Die differenzierte Betrachtung zeigt aber, dass sich in dieser Gruppe nur 30 % sicher sind, Radon zu kennen, 35 % glauben, von Radon schon gehört zu haben. Die Bekanntheit von Radon nimmt dabei mit dem Alter und der formalen Bildung zu. Die Einschätzung der eigenen Kenntnisse zu Radon liegt erwartungsgemäß auf einem eher niedrigen Niveau: Von den rund zwei Dritteln der Befragten, die Radon gestützt kennen, gaben 10 % an, dass sie ihre Kenntnisse für (sehr) groß halten (Top2-Box / 5pt. Skala), während rund 60 % ihre Kenntnisse als (sehr) gering einschätzen (Low2-Box). Auch sieht die große Mehrheit der Befragten kaum ein Risiko für sich persönlich, das von Radon ausgeht. Lediglich 6 % der Befragten (Top2-Box / 5pt. Skala) geben an, dass sie das Risi-

ko, das von Radon ausgeht, für „hoch“ bzw. „sehr hoch“ halten, während 52 % der Befragten es für (sehr) gering halten (Low2-Box). Außerdem halten nur wenige Befragte die Wahrscheinlichkeit für (sehr) hoch, dass ihr Wohnraum eine erhöhte Radonkonzentration aufweist (4 %, Top2-Box / 5pt. Skala), während 66 % es für (sehr) unwahrscheinlich halten (Low2-Box). Analog der qualitativen Ergebnisse führt die Beschäftigung mit dem Thema Radon zu einer höheren Sensibilisierung. Reduziert man in der Fragetechnik die Distanz zum Thema Radon, indem man nach der hypothetisch angenommenen Auswirkung einer erhöhten Radonkonzentration im eigenen Wohnraum/Haus fragt, steigt die Risikowahrnehmung. Die Verbindung von Lungenkrebs und erhöhter Radonkonzentration im Wohnraum sehen in diesem Kontext deutlich mehr Befragte. So gaben 40 % an, dass sie denken, dass sich das Risiko für Lungenkrebs (sehr) stark erhöhen würde (Top2-Box). Um die Relation der Gefahr, die von Radon ausgeht, besser einordnen zu können, wurden die Befragten gebeten, Radon im Vergleich zu anderen Risiken einzuordnen und eine Reihenfolge zu bilden. Dabei zeigt sich, dass Strahlung in der Nähe eines Kernkraftwerks von 38 % der Befragten als die größte Gefahr für die Gesundheit angesehen wird, bei Radon sind dies lediglich 4 %.

Ein zentraler Aspekt in der Radonkommunikation ist das Thema Radonmessung. Aber wie viele Menschen wissen heute, dass man die Radonkonzentration im eigenen Wohnraum messen kann? Mit 27 % hat ein gutes Viertel der Befragten schon einmal davon gehört, bei Personen ab 65 Jahren liegt der Anteil bei 35 %. Betrachtet man die Gesamtheit aller Befragten, hat mit 87 % die große Mehrheit noch nie über eine Radonmessung nachgedacht.

Um zukünftig die Menschen mit Informationen zum Thema Radon erreichen zu können, ist das Maß an Vertrauen, das einem Absender entgegengebracht wird, relevant. Hier kann zusammenfassend festgestellt werden, dass öffentliche Institutionen ein hohes Vertrauen genießen und allgemeine Informationen über das Vorkommen und die Auswirkungen von Radon für die meisten Befragten eine hohe Relevanz haben. Darüber hinaus ist die Möglichkeit selbst aktiv werden zu können und dafür die richtigen Anlaufstellen zu erfahren (um Geräte zu bestellen, Unternehmen zu finden etc.), ein wichtiger Punkt für Personen, die sich bereits mehr mit dem Thema beschäftigt haben oder den Kauf/Bau einer Immobilie planen. Hier können auch Immobilienportale - neben den Gemeinden und Verkäufern - eine wichtige Rolle spielen.

Die Ergebnisse des Conjoint zeigen, dass die Informationsquelle einen großen Einfluss auf die Handlungsbereitschaft hat und dass Bundesämter/Ministerien als Absender der Information am besten wirken. Daneben führte die Erwähnung eines Radon-Messgeräts, die Angabe, wo es bestellt werden kann und wie hoch der ungefähre Preis ist, dazu, dass mehr Personen die Absicht entwickelten, eine Radonmessung durchzuführen. Dies wird somit als wichtige Information angesehen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse dieser Studie sind eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung der Risikokommunikation im Bereich Radon. Erkenntnisse über den Informationsstand, die Risikowahrnehmung und die Handlungsbereitschaft der Bevölkerung - differenziert ausgewertet nach relevanten Zielgruppen - dienen der lebensphasenspezifischen und zielgruppenspezifischen Risikokommunikation. Je genauer die Risikokommunikation auf die Lebenswelt der Rezipient*innen ausgerichtet wird, um so eher kann die Risikokommunikation zu informierten Entscheidungen bzgl. Radonschutz beitragen.

Thema

Eine vergleichende Evaluation der Online-Krisenkommunikation von Behörden und unabhängigen Expert*innen im Zuge der Covid-19 Pandemie als Grundlage für die Verbesserung der BfS-Krisenkommunikation - Los 2

Subject

A comparative evaluation of online crisis communication of authorities and independent experts in the context of the COVID-19 pandemic as basis for an improvement of crisis communication of the Federal Office of Radiation Protection - Lot 2

Kennzeichen
3620S72216

Beginn
01.12.2020

Ende
30.04.2021

Fördermittel
EUR 74.970,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Bietergemeinschaft C³ team GbR und Süddeutsches Institut für empirische Sozialforschung e. V., beide München

Projektleitung
Prof. Dr. J. Roosen

Fachbetreuung BfS
M. Gruß / St-RK

verantwortlicher für den Text
Dr. L. Drescher, Dr. K. Aue

1. ZIELSETZUNG

Das hier beschriebene Projekt untersucht die Krisenkommunikation auf Twitter zur Covid-19-Pandemie in Deutschland und vergleicht dabei bestehende Unterschiede in der Kommunikation von Behörden auf der einen und unabhängigen Expert*innen auf der anderen Seite. Übergeordnetes Ziel dieses Vorhabens ist es, aus den Ergebnissen wichtige Hinweise für eine erfolgreiche Online-Krisenkommunikation im Strahlenschutz für den Auftraggeber abzuleiten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Vor dem Hintergrund der Gesamtzielsetzung wurden die nachstehenden Einzelziele definiert.

2.1 UNTERSUCHUNG DER EIGENSCHAFTEN VON TWEET-INHALTEN IM VERGLEICH VON UNABHÄNGIGEN EXPERT*INNEN UND BEHÖRDEN

Dieses Ziel widmet sich der Bestimmung und Beschreibung der Inhalte der Krisenkommunikation von unabhängigen Expert*innen und Behörden im Vergleich. Hierunter fällt die Analyse von Stil-, Struktur- und Inhaltselementen und Bezugnahme der Reichweite der Tweets. Weiterhin sollte untersucht werden, welche Faktoren zu einer erhöhten Sichtbarkeit der Nutzer*innen bei Twitter beitragen.

2.2 UNTERSUCHUNG DER FRAGE, WELCHE VON DEN ACCOUNTS UND DER GESTALTUNG DER KOMMUNIKATION UNABHÄNGIGEN FAKTOREN DIE SICHTBARKEIT DER NUTZER*INNEN AUF TWITTER BEEINFLUSSEN

Dieses Ziel widmet sich im Rahmen einer Trendanalyse der Erfassung von Faktoren auf Grundlage von Google Trends (Schlagzeilen) zur Erklärung der Retweet Counts durch die Suchanfragen der Top 9 Google-Schlagzeilen im Untersuchungszeitraum sowie der Anzahl der Covid-19-Neuinfektionen in Deutschland.

2.3 ANALYSE DER SALIENZ, INSBESONDERE WELCHE INHALTE, GEMESSEN IN ANZAHL AN RETWEETS UND LIKES, BESONDERS HOHE SALIENZ ERREICHEN

Für dieses Ziel sollten die im Untersuchungszeitraum erfolgreichsten Tweets im Rahmen der Covid-19-Krisenkommunikation identifiziert, beschrieben und mit dem Gesamtdatensatz verglichen werden.

2.4 UNTERSUCHUNG DER TWITTER-NETZWERKSTRUKTUREN ZUR COVID-19 KRISENKOMMUNIKATION AUF TWITTER

Hier ist die Identifizierung der strukturellen Merkmale der Twitter-Netzwerke der Nutzer*innen das Ziel. Dieses Unterziel wird erreicht durch die Durchführung einer Sozialen-Netzwerk-Analyse.

3. METHODIK

Methodisch wurde eine ausführliche Literaturrecherche zu den Themen Krisenkommunikation, Social Media, insbesondere Twitter und Covid-19, zur Erfassung der gängigen Untersuchungsmethoden und als Hintergrund für die anstehenden Analysen vorangeschaltet.

Darauf aufbauend wurde mit dem Social Media Analytics Framework gearbeitet. Methodisch erfolgte die Auswertung auf deskriptiver Ebene sowie über die Quantitative Textanalyse (inklusive Inhaltsanalyse, Sentiment-Analyse, Trendanalyse und Analyse erfolgreichster Tweets) und der Sozialen Netzwerkanalyse mit Hilfe von GEPHI.

4. DURCHFÜHRUNG

Für die Twitter-Analysen wurden zunächst 40 zu untersuchende Twitter-Accounts von Behörden und Expert*innen, die in der Covid-19-Pandemie durch ihre Twitter-Aktivitäten sowie durch mediale Bekanntheit aufgefallen sind, ausgewählt. Insgesamt wurden 18 unabhängige Expert*innen sowie 22 Behörden sowie Forschungseinrichtungen in die Studie einbezogen. Als Untersuchungszeitraum wurde das erste Pandemie-Jahr vom 01.01.2020 bis zum 15.01.2021 ausgewählt. Nachdem alle Tweets (n= 50 100) im genannten Zeitraum abgezogen wurden, konnten mit einem dafür entwickelten Filterverfahren insgesamt 35 645 Covid-19-Tweets identifiziert werden. Nach der Datengewinnung und -aufbereitung erfolgte die Datenanalyse. Die Daten wurden eingangs beschrieben und anschließend mittels quantitativer Inhaltsanalyse, Sentimentanalyse, Trendanalyse und Sozialer Netzwerkanalyse untersucht.

5. ERGEBNISSE

5.1 DESKRIPTIVE ERGEBNISSE

Bereits die deskriptive Analyse zeigte, dass das Twitter-Verhalten von Behörden und unabhängigen Expert*innen grundlegend verschieden ist. So zeichnete sich die Kommunikation der Expert*innen durch einen höheren Anteil an Freund*innen und Followern aus. Ebenso konzentrierten sie sich thematisch stärker auf die Covid-19-Pandemie als die thematisch breiter aufgestellten Behörden, die im Untersuchungszeitraum deutlich mehr zu anderen, Nicht-Covid-19-Themen kommunizierten als Expert*innen. Unter den 40 ausgewählten Akteure*innen konnten sowohl bei den unabhängigen Expert*innen (n=5) als auch bei den Behörden (n=3) sog. Multiplikatoren identifiziert werden, die besonders viel zu den Covid-19-Tweets beitragen. Auch wird deutlich, dass die Covid-19-Krisenkommunikation der unabhängigen Expert*innen stärker wahrgenommen und verbreitet wurde als die der Behörden. Ebenso nahm die Krisenkommunikation der Expert*innen auf Twitter im Zeitverlauf zu, während die Behördenkommunikation eher abnahm bzw. sogar stagnierte. Die Inhaltsanalyse kam zu folgenden Ergebnissen: Die Top 20 Wörter innerhalb der Covid-19-Tweets verdeutlichten, dass die Wortwahl unter Behörden eher allgemein war, während Expert*innen eher konkrete Wörter mit Bezug zur Pandemie und Forschung nutzten. Ein wichtiges Ergebnis war zudem, dass die Twitter-Aktivität parallel zu den Zahlen der Neuinfektionen verlief. Somit erscheinen Twitter-Daten als geeignet, um die Social Media-Krisenkommunikation in der Pandemie zu analysieren.

5.2 QUANTITATIVE TEXTANALYSE

Im Rahmen der Quantitativen Textanalyse konnten starke Unterschiede hinsichtlich des Einflusses intrinsischer Nachrichteneigenschaften auf den Erfolg der Krisenkommunikation identifiziert werden.

Unter Berücksichtigung von Stil-, Inhalts- und Strukturvariablen zeigten sich folgende Ergebnisse: Hash-tags und Mentions erwiesen sich für beide Gruppen als negativ und zu ablenkend in der Krise. Zudem wirkten Bilder für Behörden negativ. Interessanterweise war die Nutzung von URLs für Behörden negativ, während sie für Expert*innen positiv war. Es kann vermutet werden, dass Expert*innen im Untersuchungszeitraum mehr vertraut wurde oder diese relevantere Inhalte lieferten. Bezogen auf die Inhaltsvariablen wirkte es sich auf den Erfolg positiv aus, wenn die Schwere der Krankheit, technische Informationen, z. B. über die Verbreitung des Virus, oder soziale Auswirkungen thematisiert wurden. Dagegen wirkten Tweets, welche das Thema Anfälligkeit ansprechen, für Behörden negativ. Hinsichtlich des Stils ergaben die Analysen, dass sich für Behörden die Nutzung der 2. Person in Tweets positiv auf die Retweet-Häufigkeit auswirkte.

5.3 SENTIMENT-ANALYSE

Im Rahmen der Sentimentanalyse wurden die originären Tweets hinsichtlich der Emotionalität untersucht. Hier zeigte sich beispielsweise, dass unabhängige Expert*innen (abnehmend) negativer twittern und Behörden über den Sommer 2020 nahe der Neutralität auf Twitter kommunizierten und somit den Sommer nicht strategisch für die Krisenkommunikation nutzten. Insgesamt twitterten Behörden strukturierter, allgemeiner und kommunizierten verstärkt regionale Informationen, während Expert*innen vor allem durch ad hoc-Tweets mit wenig Strukturelementen, einer konkreteren Wortwahl und höherer Emotionalität auffielen. Dadurch wirkten unabhängige Expert*innen authentischer und glaubwürdiger.

5.4 TRENDANALYSE

Als weiteres Untersuchungselement wurde mittels einer Trendanalyse untersucht, von welchen anderen, externen Faktoren die Twitter-Aktivität abhing. Hierfür wurden öffentlich zugängliche Google-Trends Schlagzeilen herangezogen und in Bezug zu den Covid-19-Tweets gesetzt. Im Rahmen der Trendanalyse wurde deutlich, dass die Sichtbarkeit bzw. die Retweets durch andere im Untersuchungszeitraum wichtige Schlagzeilen beeinflusst wurden: Stehen sie im Zusammenhang mit der Pandemie, wirken sie positiv, wohingegen sie bei Unabhängigkeit negativ wirken.

5.5 SOZIALE NETZWERKANALYSE

Die Soziale Netzwerkanalyse von relevanten Twitter Accounts im Krisenfall erlaubt es, schnell und auf einen Blick zentrale sowie randständige Akteur*innen zu identifizieren und entsprechend die eigene Position zu bewerten und diese weiterzuentwickeln. So konnte gezeigt werden, dass es nicht nur wichtig ist, selbst einen Twitter-Account zu pflegen, sondern dass es absolut sinnvoll ist, sich gezielt mit anderen zu vernetzen. Die durch die Soziale Netzwerkanalyse gewonnenen Informationen können dazu dienen, die eigene Kommunikation gezielt zu steuern, u. a. durch die Vernetzung mit strategisch wichtigen Akteur*innen bzw. wichtigen Gruppen.

5.6 DISKUSSION

Basierend auf den Ergebnissen konnten zentrale Erkenntnisse zur Online-Krisenkommunikation für Behörden gewonnen werden. Es ist zu empfehlen, dass Behörden ein breiteres Netzwerk aus mehr Freund*innen und Followern und eine aktivere Kommunikation - bereits in Nicht-Krisenzeiten - anstreben bzw. fortführen sollten. Dies ist wichtig, um die Bevölkerung im Rahmen von Risikoinformation zu informieren und um die Bevölkerung frühzeitig an Strahlenschutzthemen heranzuführen bzw. dafür zu sensibilisieren. Ziel sollte es außerdem sein, von einer permanenten, qualitativ hochwertig geführten Twitter-Kommunikation in einer Nicht-Krisensituation glaubwürdig und nahtlos auf eine Krisensituation umschalten zu können. Das bedeutet für Behörden auch, dass es auf Twitter weiter Vertrauen schafft bzw. steigert, um bei einem möglichen radiologischen Notfall auf Twitter wahrgenommen zu werden. In diesem Zusammenhang erscheint es sinnvoll, frühzeitig geeignete Partner*innen wie Influencer*innen im Bereich der Krisenthematik zu identifizieren und für den Krisenfall zu gewinnen. Schließlich sollten alle Behörden und Organisationen regelmäßig ihre Kommunikationsstrategien überprüfen und bei Bedarf neu denken bzw. anpassen, um im Krisenfall optimal mit der Bevölkerung zu kommunizieren.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Eine erfolgreiche Krisenkommunikation auf unterschiedlichen Online-Kanälen ist essenziell für die Information der Bevölkerung im Fall eines radiologischen Notfalls. Die Ergebnisse der Studie liefern die nötigen Erkenntnisse dazu, wie sich BMUV und BfS als offizieller Ansprechpartner im Fall einer Krise auf Twitter positionieren, als solche kommunizieren und die eigene Sichtbarkeit erhöhen können. Sie zeigen darüber hinaus, welche Rolle den Sozialen Medien und unabhängigen Expert*innen in der Krise zukommt und wie sich Behörden im Mediendiskurs erfolgreich positionieren können. Die zentrale Rolle von Twitter als Krisenkommunikationstool wird bestätigt und die Eigenschaften erfolgreicher Tweets ermittelt. Die Ergebnisse sind eine wichtige Grundlage für die Vorbereitung und Gestaltung der Krisenkommunikation des BfS.

Das vorliegende FV bietet BMUV und BfS damit eine wichtige Grundlage für die Information der Bevölkerung sowohl über die radiologische Lage als auch über Vorsorge- bzw. Schutzempfehlungen und dient damit der Umsetzung des Strahlenschutzgesetzes, insbesondere §§ 105 und 112.

Thema

Blendattacken und Augenschädigungen durch Laser und andere starke optische Strahlungsquellen

Subject

Dazzle attacks and eye injuries by lasers and other powerful sources of optical radiation

Kennzeichen
3620S72410

Beginn
01.07.2020

Ende
31.08.2021

Fördermittel
EUR 116.792,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Fraunhofer Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung, Ettlingen

Projektleitung
M. Henrichsen

Fachbetreuung BfS
Dr. M. Asmuß / WR 4

verantwortlich für den Text
M. Henrichsen, S. Stutz, Dr. B. Eberle

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens war es, Blendattacken und Augenschädigungen durch Laser und andere starke optische Strahlungsquellen qualitativ und quantitativ zu erfassen und das mit diesen Attacken einhergehende Gefährdungspotential zu bewerten. Da in Deutschland hierzu keine zentrale Datenerfassung existiert, musste in einem ersten Schritt zunächst die Datenlage dafür erfasst werden. Das Vorhaben diente gleichzeitig auch der Verbesserung der Informationsgrundlage zur Einschätzung der mit Blendattacken verbundenen individuellen Gesundheitsrisiken sowie auch von Folgerisiken für Dritte. Auf dieser Grundlage sollten, unter Berücksichtigung der aktuellen rechtlichen Situation, regulative bzw. normative Möglichkeiten zur Minimierung der gesundheits- und verkehrssicherheitsrelevanten Risiken von Blendattacken aufgezeigt werden. Präventivmaßnahmen von Ländern, die bereits gesetzliche Restriktionen bezüglich des Erwerbs und Besitzes von sogenannten Laserpointern implementiert haben, können als Orientierungshilfe für einzuleitende rechtliche Schritte in Deutschland dienen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFARBEITUNG DES AKTUELLEN KENNTNISSTANDES (AP 1)

Recherchen zu nationalen und internationalen Erhebungen sowie zu Umfragen, die für die Studie herangezogen werden können.

2.2 RECHERCHE UND AUFBEREITUNG DER ERGEBNISSE (AP 2)

Erstellung eines mit dem BfS abgestimmten Abfragebogens, der relevante Informationen, wie z. B. Zeit, Art des Vorfalls, Auswirkungen der Attacke u. a., beinhaltet

Abfrage behördlicher, medizinischer sowie sonstiger öffentlicher Institutionen.

2.3 AUSWERTUNG UND BEURTEILUNG (AP 3)

- Auswertung der aus den Rückmeldungen gewonnen Ergebnisse
- Einschätzung der mit den Laserattacken verbundenen Risiken
- Analyse der rechtlichen Situation
- Diskussion möglicher Ansätze zur Risikominimierung.

3. METHODIK

3.1 AUFARBEITUNG DES AKTUELLEN KENNTNISSTANDES (AP 1)

Im ersten Aufgabenpaket wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, basierend auf einer schlagwortbasierten Internetabfrage. Dabei wurden sowohl wissenschaftliche Veröffentlichungen zu Blendvorfällen mit Laserpointern als auch entsprechende Meldungen aus dem Presseportal der Polizei recherchiert.

3.2 RECHERCHE UND AUFBEREITUNG DER ERGEBNISSE (AP 2)

In diesem Arbeitspaket wurde initial ein Abfragebogen zur Erfassung von Blendattacken über einen Zeitraum von fünf Jahren (2015 - 2019) erstellt und mit einem entsprechenden Anschreiben an verschiedene öffentliche, behördliche und medizinische Institutionen verteilt. Soweit vorhanden, wurden auch Meldungen aus dem Jahr 2020 in die Erhebung einbezogen. Die Daten aus den Rückmeldungen wurden systematisch erfasst und aufbereitet.

3.3 AUSWERTUNG UND BEURTEILUNG (AP 3)

- Weiterführende Analysen der Vorfälle aus AP 2: Dies beinhaltet Hochrechnungen, Trendanalysen und weitere Auswertungen, wie sich die Anzahl und Art der Angriffe mit der Zeit entwickelt haben und welche Parameter Einfluss auf Gefährdungen haben.
- Einschätzung der mit den Attacken verbundenen Risiken: Betrachtet wurden die direkten Auswirkungen von Laserattacken auf betroffene Personen sowie auf durch deren Verhalten betroffene Dritte. Darüber hinaus wurden beispielhafte Berechnungen zu Lasergefährdungsabständen als Basis für Risikobetrachtungen durchgeführt.
- Analyse der rechtlichen Situation: Auf Basis der recherchierten Faktenlage wurde in Zusammenarbeit mit der Hochschule Polizei Baden-Württemberg, Fakultät III Rechtswissenschaften in Villingen-Schwenningen, die aktuelle rechtliche Situation bewertet.
- Ansätze zur Risikominimierung: Die Erkenntnisse der bereits bearbeiteten Aufgabenteile wurden daraufhin untersucht, inwieweit normative oder gesundheitspolitische Ansätze einer effizienten Risikominimierung möglich bzw. erfolgversprechend sein könnten. Hier wurde auch analog zu Regulierungen in anderen Nationen die Frage diskutiert, inwieweit ähnliche Maßnahmen in Deutschland in Betracht kommen könnten.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES AKTUELLEN KENNTNISSTANDES (AP 1)

Zur Vorbereitung der Literaturrecherche wurden Schlagwörter definiert und in Gruppen eingeteilt. Diese wurden in Kombinationen für Suchanfragen verwendet.

Über die allgemeinen Internetsuchmaschinen hinaus wurde nach Veröffentlichungen in Dokument- und Statistik-Datenbanken recherchiert. Darüber hinaus wurden fachspezifische Internetseiten, die sich bekanntermaßen mit Laserpointern und deren Gefahren, sicherem Umgang sowie medizinischen Auswirkungen beschäftigen, durchsucht.

4.2 RECHERCHE UND AUFBEREITUNG DER ERGEBNISSE (AP 2)

4.2.1 Anfragen an Institutionen

Um Aufschluss über Anzahl und Details zu Vorfällen mit Laserpointern in Deutschland zu bekommen, wurden relevante öffentliche und medizinische Institutionen angefragt. Diese Institutionen sind u. a. Bundespolizei, Landespolizeien, Innenministerien, Luftfahrtbundesamt, Gewerkschaften, Verbände und Augenkliniken.

4.2.2 Erstellung von Abfragebögen

Bezüglich der öffentlichen und medizinischen Institutionen wurden zwei verschiedene Abfragebögen erstellt. Der erste Abfragebogen bezieht sich auf formale Detailinformationen zu Laservorfällen und enthält u. a. Fragen zu Datum, Tatort und Tathintergrund. Der zweite Abfragebogen zielt auf die medizinischen Belange, d. h. auf Auswirkungen und Schädigungen am Auge.

4.3 AUSWERTUNG UND BEURTEILUNG (AP 3)

- Weiterführende Analysen der Vorfalldaten aus AP 2: Die Daten aus den Rückmeldungen zu den Fragebögen wurden ausgewertet und graphisch aufbereitet. Um Datenlücken auszugleichen, wurden Hochrechnungen durchgeführt. Dies erlaubte eine bundesweite Abschätzung von Größenordnungen und Tendenzen.
- Einschätzung der mit den Attacken verbundenen Risiken: Um einen Eindruck über Gefährdungsbereiche (Sicherheitsabstände) durch leistungsstarke Laserpointer zu gewinnen, wurden Werte für die "Nominal Ocular Hazard Distance" (NOHD) und die "Nominal Ocular Dazzle Distance" (NODD) berechnet.
Die NOHD entspricht der Entfernung, ab der die Gefahr einer Augenschädigung mit geringer werdendem Abstand zur Laserquelle graduell ansteigt. Sie ist keine scharfe Grenze, sondern definiert eine Sicherheitsentfernung, außerhalb derer keine Schutzvorkehrungen für das menschliche Auge getroffen werden müssen.
Das NODD-Konzept ermöglicht es einerseits, die Entfernung zu bestimmen, ab der eine Blendung auftritt, und andererseits, für einen definierten Abstand zur Blendquelle, die erwartete Größe des Blendflecks im Gesichtsfeld der bestrahlten Person zu ermitteln.
Zur weiteren Einschätzung von Risiken durch Laserblendung ist es außerdem wichtig beurteilen zu können, welchen Einfluss eine Blendung auf die Handlungsfähigkeit einer Person hat, insbesondere in kritischen Situationen, z. B. beim Führen eines Fahrzeugs oder eines Flugzeugs. Zum Einfluss von Laserblendung auf die Handlungsfähigkeit von Autofahrern wurden in den letzten Jahren verschiedene Untersuchungen veröffentlicht: Z. B. von Steinvall et al. ("Laser dazzling impacts on car driver performance") und Vandewal et al. ("Evaluation of laser dazzling induced task performance degradation").
- Ansätze zur Risikominimierung: Für die Beurteilung von Maßnahmen zur Risikominimierung wurden individuelle Informationen zu den Tathergängen herangezogen, wie z. B. das Alter der Tatverdächtigen, Uhrzeit und Örtlichkeit, genutzte Laserquelle und Abstände zum Ziel.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES AKTUELLEN KENNTNISSTANDES (AP 1)

5.1.1 Vorfälle im Straßen-, Fuß-, Schienen- und Schiffsverkehr im Presseportal der Polizei

Im betrachteten Zeitraum (2015 - 2019) wurden im Presseportal der Polizei 151 Meldungen zu Vorfällen mit Laserblendung im Straßenverkehr, 37 Meldungen zu Vorfällen mit Fußgängern und Einsatzkräften (zu Fuß), 45 Meldungen zu Vorfällen im Schienen- und Straßenbahnverkehr und 5 Vorfälle im Schiffsverkehr veröffentlicht.

Ein systematisches Meldewesen für Laserzwischenfälle im Straßen-, Fuß-, Schienen- und Schiffsverkehr existiert bislang nicht. Es wurden daher auch keine publizierten Erhebungen oder Statistiken zu diesen Vorfällen gefunden.

5.1.2 Vorfälle im Luftverkehr

Für die Recherche wurden Daten des Luftfahrtbundesamts, der Deutschen Flugsicherung und der Dienststelle General Flugsicherheit der Bundeswehr herangezogen. Im zivilen Luftverkehr besteht seit 2009 eine Meldepflicht für Laserattacken auf Luftfahrzeuge. Seit Beginn der Aufzeichnung wurden

nach derzeitigem Stand ca. 3 000 Laservorfälle registriert, von denen etwa die Hälfte auf den Zeitraum von 2015 bis 2020 entfällt.

Im Presseportal der Polizei wurden im betrachteten Zeitraum 119 Meldungen zu Vorfällen mit Laserblendung im Luftverkehr publiziert. Die Diskrepanz zwischen den seitens der Flugsicherung gemeldeten Fällen und den im Presseportal publizierten Fällen erklärt sich aus einer restriktiven Publikationspolitik der polizeilichen Dienststellen, um keine zusätzlichen motivatorischen Anreize für Nachahmer und Trittbrettfahrer zu generieren.

5.2 RECHERCHE UND AUFBEREITUNG DER ERGEBNISSE (AP 2)

5.2.1 Rückmeldungen von Bundesländern

Die einzelnen Landespolizeien sind bei ihren Fallrecherchen unterschiedlich vorgegangen. Ursächlich hierfür ist unter anderem die Verwendung unterschiedlicher Erfassungssysteme. Es gibt einerseits die Polizeiliche Kriminalstatistik (PKS) und andererseits verschiedene länderspezifische Vorgangsbearbeitungssysteme mit einem dynamischen Datenbestand. Als Konsequenz daraus lässt sich kein homogener Vergleich der erfassten Laservorfälle über alle Bundesländer hinweg erstellen. Dementsprechend war es notwendig, Auswertungen zu aufgeschlüsselten Untermengen, wie Delikt- oder Verkehrsart, durchzuführen.

Die Rückmeldungen der Landespolizeien umfassen eine Gesamtsumme von 2 073 erfassten Laservorfällen für den Zeitraum von 2015 bis einschließlich 2019.

5.2.2 Rückmeldung der Bundespolizei

Im Zeitraum von 2015 bis einschließlich 2020 wurden insgesamt 47 Laserangriffe auf Hubschrauber der Bundespolizei registriert. Bei 36 Blendattacken (77 %) wurden Laser mit grüner Strahlfarbe verwendet.

5.2.3 Rückmeldungen der Luftfahrtbehörden und Luftfahrtunternehmen

Vom Luftfahrtbundesamt (LBA) wurden im Zeitraum von 2015 bis einschließlich 2019 insgesamt 1 467 Laservorfälle erfasst. Bei der Deutschen Flugsicherung (DFS) liegt die Zahl für den gleichen Zeitraum bei 2 251. Die höhere Vorfallzahl bei der DFS hat mutmaßlich zur Ursache, dass hier Direktmeldungen der startenden und landenden Luftfahrzeuge, die an den Tower gerichtet werden, registriert werden und beim LBA dagegen nur schriftliche Ereignismeldungen in ihrer Datenbank gelistet sind.

5.2.4 Rückmeldungen von Augenkliniken

In Deutschland existiert keine zentrale Datenbank zur Erfassung von Augenverletzungen durch Laserstrahlung. Somit mussten die einzelnen Institutionen (hier: Augenkliniken) direkt angefragt werden. Mit Unterstützung von Frau Dr. Dr. Hohberger vom Universitätsklinikum Erlangen ist es gelungen, von 47 Kliniken Rückmeldungen zu deren vorliegenden Daten zu bekommen. In Summe liegen 122 Fälle (aus 25 Kliniken) zu Patienten vor, die wegen einer Laserverletzung in einer Augenklinik behandelt wurden.

5.3 AUSWERTUNG UND BEURTEILUNG (AP 3)

5.3.1 Weiterführende Analysen der Vorfallzahlen aus AP2

Die von den Bundesländern erhaltenen Fallzahlen zeigen, dass mehr als die Hälfte der 2 073 erfassten Laserattacken im Luftverkehr stattgefunden hat, gefolgt vom Straßenverkehr mit etwa einem Drittel. Die Tendenz der erfassten Laservorfälle im Zeitraum 2015 bis 2019 ist fallend. Im Vergleich zu 2015 ist die Gesamtanzahl der erfassten Laservorfälle in 2019 um 42 % gesunken. Wohlgemerkt lässt dies keinen direkten Rückschluss auf die Veränderung der tatsächlich durchgeführten Attacken zu, da auch Änderungen im Erfassungswesen einen Rückgang suggerieren könnten. Weiterhin ist zu beachten, dass entgegen diesem Trend im Jahr 2020 die Anzahl der erfassten Laservorfälle im Luftverkehr im Verhältnis zu den registrierten Flugbewegungen gestiegen ist.

Eine Hochrechnung zum Ausgleich fehlender Daten ergibt deutschlandweit gesehen 2 944 Laservorfälle über den betrachteten Zeitraum. Bemerkenswert ist, dass Laservorfälle 12 % aller „gefährlichen Eingriffe in den Luft-, Schiffs-, und Bahnverkehr“ ausmachen.

Insgesamt sind Laserattacken im Vergleich zu anderen Straftaten eher selten, sie stellen epidemiologisch dennoch eine Problematik dar. Diese ist, je nach Verkehrsbereich, unterschiedlich einzuordnen. Ein großer Anteil der Blendattacken auf Luftfahrzeuge findet im Landeanflug statt. Hier befindet sich ein Luftfahrzeug in der kritischsten Phase des Fluges, denn in der Regel wird in dieser Flugphase manuell gesteuert, und eine Störung kann im schlimmsten Fall zu einem fatalen Unfall mit mehreren Hundert Todesopfern führen - glücklicherweise sind durch Laserattacken verursachte Unfälle im Luftverkehr bisher nicht vorgekommen. In den anderen Verkehrsarten ist die Situation anders zu betrachten. Hier ist der Anteil von Laservorfällen, bezogen auf alle gefährlichen Eingriffe, deutlich geringer und in der Regel sind die möglichen Folgen durch eine Ablenkung weniger gravierend. In Bezug auf die Gefahr für Augenschädigungen ist die Lage umgekehrt:

Für Pilot*innen ist die Gefahr eher niedrig, da die Attacken meist aus größeren Entfernungen verübt werden und sich die Pilot*innen meistens außerhalb der NOHD der typischerweise verwendeten Laser befinden. Bei den anderen Verkehrsarten ist die potentielle Gefahr einer Augenschädigung jedoch deutlich höher, da die Attacken oft aus deutlich kürzerer Entfernung durchgeführt werden.

Die Auswertung der 122 Fälle aus den Augenkliniken zeigt, dass bei 70 Fällen ein Nachweis einer organischen Schädigung festgestellt wurde. Hierbei war in den meisten Fällen die Makula (56 Fälle) und fünfmal sogar das Zentrum der Makula, die Sehgrube betroffen, also genau die Region der Netzhaut, die alleine das scharfe Sehen ermöglicht. Allerdings ist hier zu beachten, dass nicht nur Laserattacken, sondern auch an „Spielen“ mit Lasern beteiligte Kinder sowie Arbeitsunfälle mit Lasern die Ursachen von Verletzungen sind. Mit 57 % der Fälle gehören mehr als die Hälfte der Patient*innen der Altersgruppe unter 25 Jahren an. Fast ein Drittel aller Fälle betrifft Patient*innen der Altersgruppe bis 18 Jahre.

5.3.2 Einschätzung der mit den Attacken verbunden Risiken

Folgen von Blendattacken können Augenschädigungen und / oder Einschränkungen der Handlungsfähigkeit mit möglichen Sekundärfolgen sein.

Oft sind Augenschädigungen irreversibel, da Schädigungen durch Verbrennung der Netzhaut des Auges nicht repariert werden können. Eine Seheinschränkung auf Grund eines Augenschadens kann sich zwar durch die Zurückbildung von sekundären Symptomen sowie durch Kompensationsprozesse zu einem gewissen Grad bessern, jedoch nicht der originäre Schaden. Im schlimmsten Fall führt eine Laserattacke zu einer sehr starken Verminderung der Sehfähigkeit (des Visus) bis hin zur dauerhaften Erblindung (definiert durch einen nur noch sehr geringen Visus).

Die Handlungsfähigkeit wird durch Laserblendung nachweislich eingeschränkt, wie verschiedene Studien zeigen (z. B. bei Pilot*innen im Flugsimulator oder bei Autofahrer*innen). Über mögliche Folgen einer eingeschränkten Handlungsfähigkeit lässt sich viel spekulieren - Fakt ist, dass im schlimmsten Fall ein fataler Unfall mit Todesopfern die Folge sein kann.

5.3.3 Analyse der rechtlichen Situation

Strafrechtlich betrachtet sind alle naheliegenden Formen von Blendattacken nach bestehender Rechtslage strafbar. Dagegen ist im Strafrecht die Anschaffung, der Besitz oder die Verwendung von Laserpointern nicht geregelt.

Im Produktsicherheitsrecht in Verbindung mit der „Technischen Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)“ ist das Inverkehrbringen von Laserpointern der Klassen 3R, 3B und 4 untersagt. Der Besitz oder die Verwendung sind nicht reglementiert.

Im Ausland gelten teilweise deutlich strengere Regeln, so ist in der Schweiz schon der Besitz von Laserpointern oberhalb Laserklasse 1 für Privatpersonen generell verboten.

5.3.4 Ansätze zur Risikominimierung

Die Anzahl an erfassten jährlichen Blendattacken sowie die durch Einwirkung von Laserlicht entstandenen Augenverletzungen zeigen auf, dass der unbedachte oder missbräuchliche Einsatz von Lasern oder anderen starken optischen Strahlungsquellen eine Regulierung von Erwerb, Besitz und Benutzung solcher Geräte erforderlich macht.

Diese könnte sich idealerweise an den geltenden Regeln der Schweiz orientieren: Ein Verbot für Laserpointer oberhalb Laserklasse 1 für Privatpersonen ist zu empfehlen. Insbesondere die Gefahr, die eigenen Augen durch „Herumspielen“ mit Laserpointern schwer zu schädigen, aber auch die Provokation von schweren Unfällen durch Laserattacken sprechen für sich. Weiterhin vereinfacht solch eine Regelung die Situation für Laien und Behörden, weil man kein einschlägiges Fachverständnis für die verschiedenen Laserklassen benötigt.

Unabhängig von der Empfehlung einer erweiterten Regulierung ist es wichtig, die Bevölkerung möglichst frühzeitig und auf breiter Basis aufzuklären. Insbesondere im Hinblick auf Augenschädigungen bei Kindern und Jugendlichen muss verdeutlicht werden, dass es sich bei Laserpointern nicht um ein Spielzeug, sondern um ein potentiell sehr gefährliches Produkt handelt. Augenschädigungen sind typischerweise irreversibel und können im schlimmsten Fall zur dauerhaften Erblindung führen, insbesondere dann, wenn aus sehr kurzer Distanz in einen Laserstrahl geschaut wird. Es ist daher zu empfehlen, durch geeignete Maßnahmen, wie beispielsweise Plakate, Flyer, Lehrvideos, oder Gespräche mit Eltern und deren Kindern, über die Gefahren aufzuklären.

Weiterhin ist es notwendig, die Erfassung von Blendattacken sowohl im behördlichen als auch im medizinischen Bereich zu verbessern, zu vereinheitlichen (standardisieren) und zentral zugänglich zu machen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das Projekt liefert erstmals konkrete Daten zu Laservorfällen in Deutschland, nicht nur im Bereich Luftfahrt, sondern auch in bisher nicht betrachteten Bereichen wie dem Straßenverkehr und dient damit dem Schutz der Bevölkerung vor den Risiken nichtionisierender Strahlung. Welche Möglichkeiten für eine Verschärfung der derzeitigen Rechtslage bestehen bzw. als notwendig erachtet werden, muss auf Basis der Ergebnisse der vorliegenden Studie weiter diskutiert werden. Die Ergebnisse werden genutzt, um über die Risiken missbräuchlicher Nutzung von Laserpointern zu informieren und das diesbezügliche Risikobewusstsein zu verbessern. Insbesondere im Hinblick auf Augenschäden durch Laserpointer, von denen häufig Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene betroffen sind, sollen die Ergebnisse für zielgruppenspezifische Informationen genutzt werden.

2.8 Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

2.8 *Subject area 08*
Non-ionising radiation

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 / KEMF

verantwortlich für den Text

Dr. U. Winkler

1. ZIELSETZUNG

Hochspannungsleitungen emittieren sogenannte Korona-Ionen, diese wiederum übertragen ihre Ladung an in der Luft befindliche Partikel. Das Thema möglicher biologischer und gesundheitlicher Wirkungen von Ionen oder geladenen Partikeln wurde in der Literatur kontrovers diskutiert. Die Risikobewertung vor allem im Umfeld von auch in Deutschland geplanten Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen (HGÜ) / Hochspannungsleitungen ist nicht abschließend geklärt (bei Wechselspannungsleitungen sorgt der rapide Polaritätswechsel für einen schnellen Abbau der Mehrzahl der emittierten Ionen, bei HGÜ hingegen nicht). Ziel des Forschungsvorhabens war, 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. Das Vorhaben diente zur Verbesserung der Risikobewertung und zur Information der Bevölkerung.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt bestand aus 6 Arbeitspaketen (AP):

- Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik (AP 1)
- Quantitative Bestimmung der Exposition der Bevölkerung mit Ionen und geladenen Schadstoffpartikeln von Hochspannungsleitungen (AP 2) und aus anderen Quellen (AP 3)
- Zusammenfassung und Bewertung der Literaturangaben speziell zur Ladungs-induzierten Depositionserhöhung (AP 4) und zu möglichen biologischen und gesundheitlichen Wirkungen im Allgemeinen (AP 5)
- Identifikation des Weiteren Forschungsbedarfes (AP 6).

3. METHODIK

Hauptmethodik war die Literaturrecherche. Ein Fokus lag dabei auf der Recherche nach Messungen von Konzentrationen von Ionen und geladenen Partikeln sowie zu theoretischen Ansätzen zur Berechnung derartiger Werte. Ein weiterer Fokus lag auf relevanten theoretischen und experimentellen medizinischen Studien.

4. DURCHFÜHRUNG

Der Auftragnehmer nutzte seinen Vollzugriff auf den Bestand und die Online-Ressourcen der Universitätsbibliothek Leipzig (während der Pandemie war dieser Zugang teilweise eingeschränkt oder unmöglich, da aus Lizenzgründen auch der Online-Zugriff eine physische Anwesenheit im Bibliotheksbereich erforderte). Zur Literaturrecherche wurden in erster Linie die wissenschaftlichen Literatur- und Zitationsdatenbanken des Web of Science herangezogen.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Literaturrecherche mittels des Web of Science ergab über 600 zumindest grob themenbezogene Publikationen. Etwa 400 davon wurden als potentiell relevant eingestuft, 244 davon fanden Eingang in den Abschlussbericht. Die Verteilung über die Unterthemen der Studie ist jedoch sehr unterschiedlich:

- 82 der im Report zitierten Studien (34 %) beziehen sich thematisch auf Messungen und theoretische Erwartungen zur Konzentration von Ionen und geladenen Partikeln im Wirkungsbereich von Hochspannungsanlagen.
- 51 (21 %) Publikationen betreffen epidemiologische Studien im Umfeld von Hochspannungsleitungen oder haben einen mittelbaren thematischen Bezug dazu. Hier existiert eine sehr umfangreiche Literatur: über 200 einschlägige Studien wurden gefunden. Dieses Thema übersteigt den Rahmen dieser Studie; es wurde nur eine Auswahl getroffen. Zusammenfassend kann hier festgestellt werden, dass einige Studien, welche auf Daten aus den 60er bis 90er Jahren basierten, durchaus statistisch signifikante Häufungen vor allem von Kinderleukämie an Adressen im Umfeld von Hochspannungsleitungen feststellten, und dies auch noch in Entfernungen, in welchen die an den Leitungen erzeugten elektrischen oder magnetischen Felder als Erklärung ausscheiden. Diese epidemiologischen Befunde stehen bislang jedoch allein: weder aus theoretischen Überlegungen noch aus Laborstudien ergab sich bisher ein plausibler Kausalzusammenhang, und es bestehen auch alternative Erklärungsansätze, bei welchen die Hochspannungsleitungen keine Kausalrolle spielen. Neuere Studien (einschließlich Fortschreibungen der Studien mit Positivbefunden) konnten zudem kein gehäuftes Auftreten mehr feststellen.
- 50 (20 %) Publikationen beziehen sich auf Messungen von Ionen oder geladenen Partikeln entweder in der ruralen oder urbanen Hintergrundluft, oder in speziellen Umgebungen, überwiegend im Verkehrsbereich, sowie im Umfeld von Wasserfällen.
- 48 (20 %) Publikationen beziehen sich auf den Einfluss der Partikelladung auf die Deposition und Wirkung in den Atemwegen. Zudem wurden hier auch Publikationen einbezogen, welche die Deposition im Allgemeinen (d.h. auch von ungeladenen Partikeln) betrachten und für das Verständnis wichtig sind. Auch hier besteht eine sehr umfangreichere Literatur. Ein Großteil der einschlägigen theoretischen und experimentellen Arbeiten widmet sich allerdings dem gezielten Einsatz von Partikelladungen, um Medikamente in bestimmte Abschnitte von Lunge und Atemtrakt einzubringen. Hier wird mit sehr hohen Partikelladungen im drei- bis fünfstelligen Bereich gearbeitet, welche im Umfeld von Hochspannungsleitungen nicht auftreten. In diesem Report wurde deshalb die Auswahl im Wesentlichen auf Arbeiten beschränkt, welche speziell die Deposition niedrigbeladener Partikel betreffen.
- 13 (5 %) Publikationen betreffen den Einfluss elektrischer und magnetischer Felder auf Deposition und Bewegung geladener Partikel sowie die dadurch hervorgerufene Akkumulation von Aerosolen, Schadstoffen, Radonfolgeprodukten o. ä. im Wirkungsbereich von Hochspannungsleitungen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich aus der Literatur nach dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft kein plausibler Kausalmechanismus hinsichtlich einer signifikanten gesundheitlichen Wirkung von Ionen oder geladene Partikel im Umfeld von Hochspannungsleitungen ergibt. Auch

frühere Reviews, etwa des britischen National Radiological Protection Board (NRPB) aus dem Jahr 2004, kamen zu diesem Ergebnis.

5.2 QUANTITATIVE BESTIMMUNG DER EXPOSITION DER BEVÖLKERUNG MIT IONEN UND GELADENEN SCHADSTOFFPARTIKELN VON HOCHSPANNUNGSLEITUNGEN

Diese Problematik stellt sich zweigeteilt dar. Primär entstehen an Hochspannungsleitungen sogenannte Cluster-Ionen, diese können im weiteren Verlauf ihre Ladungen an Partikel übertragen. Zu den Cluster-Ionen besteht eine einfache Theorie, um deren maximal mögliche Konzentration in einer bestimmten Entfernung windabwärts einer unipolaren Ionenquelle abzuschätzen. Im Rahmen dieser Studie wurde diese Theorie auf verschiedene publizierte Ionenmessungen windabwärts von Hochspannungsleitungen angewandt. Im Fall von HGÜ ergab sich, dass die Messwerte den theoretisch erwarteten Maximalwerten durchaus nahekommen können, diese aber nur in Einzelfällen um maximal 10 % überschreiten, was ggf. auf Messunsicherheiten zurückzuführen sein kann. Die Methode zur Bestimmung der maximal möglichen Cluster-Ionen-Konzentration kann damit als gut validiert und für HGÜ praktisch anwendbar betrachtet werden. Im Fall von Wechselspannungsleitungen lagen die gemessenen Ionenkonzentrationen typischerweise 1-2 Größenordnungen unterhalb der theoretischen Maximalwerte, d.h. hier würde die Theorie zu einer dramatischen Überschätzung führen.

Im Rahmen dieser Literaturstudie erfolgte insbesondere die Evaluierung der Messungen von Cluster-Ionen-Konzentrationen, welche von 1989 bis 1992 in der Umgebung einer HGÜ sowie von parallel verlaufenden Wechselspannungsleitungen in New Hampshire, USA, durchgeführt wurden; diese Messungen erfolgten durch den Leitungsbetreiber aus regulatorischen Gründen und fanden bislang keinen Eingang in eine wissenschaftliche Publikation. Auch diese Messungen bestätigten die obigen Feststellungen, siehe Abbildung 1. Eine direkte gesundheitliche Relevanz dieser Cluster-Ionen besteht nach dem Stand der Wissenschaft nicht.

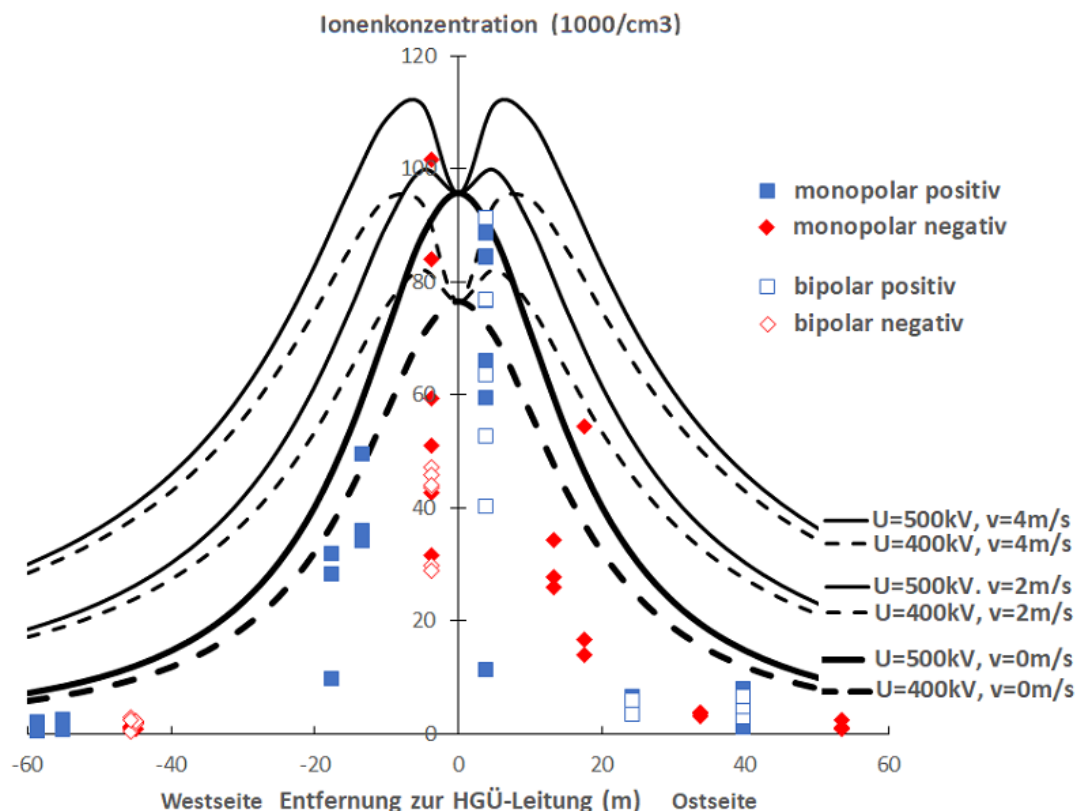


Abbildung 1: 95 %-Perzentile der Konzentrationen positiver (blau) oder negativer (rot) Cluster-Ionen in verschiedenen Abständen von einer HGÜ in New Hampshire bei entweder monopolarer (volle Symbole) oder bipolarer (offene Symbole) Betrieb der Leitung. Die Linien geben die theoretisch erwarteten Maximalwerte bei verschiedenen Leitungsspannungen U und Windgeschwindigkeiten v an.

Diese Cluster-Ionen können sich im weiteren Verlauf an bereits in der Luft befindliche Partikel anlagern. Dieser Vorgang ist theoretisch zwar ebenfalls gut verstanden, allerdings sind einige relevante Parameter in der Praxis nur grob bekannt. In der Literatur wurde eine einfache Abschätzmethode vorgeschlagen, diese beruht jedoch auf mehreren, zum Teil möglicherweise unzulässigen, Vereinfachungen, und bedarf daher der Validierung. Hierzu, und auch zur Abschätzung einer möglichen gesundheitlichen Relevanz, wären Messungen zweidimensionaler Partikel-Häufigkeitsverteilungen (als Funktion von Größe und Ladungszahl) erforderlich, diese sind jedoch sehr geräte- und zeitaufwändig und liegen in der Praxis kaum vor; die meisten einschlägigen Messungen beschränkten sich entweder auf Partikel mit Durchmesser kleiner als 40 nm (hier sind die Beiträge von Partikeln mit Ladungszahlen größer als 1 vernachlässigbar) oder auf Raumladungsmessungen (= pauschale Messungen der Netto-Konzentration aller Partikelladungen in der Luft, unabhängig von Größe und Ladungszahl, lediglich Cluster-Ionen können zuvor ausgefiltert werden). Die vorgestellte Abschätzungsmethode erwies sich als anwendbar auf die wenigen vorliegenden Messungen, hier besteht jedoch noch Forschungsbedarf.

5.3 QUANTITATIVE BESTIMMUNG DER EXPOSITION DER BEVÖLKERUNG MIT IONEN UND GELADENEN SCHADSTOFFPARTIKELN AUS ANDEREN QUELLEN

Ionen und geladene Partikel sind nicht nur im Umfeld von Hochspannungsleitungen relevant: Vor allem im Umfeld stark befahrener Straßen sowie von Wasserfällen wurden ebenfalls hohe Konzentrationen gemessen, welche (abhängig vom genauen Abstand) vergleichbar oder sogar höher als entsprechende Konzentrationen nahe von Hochspannungsleitungen sein können, siehe Abbildung 2. Ein wesentlicher Unterschied ist, dass im Umfeld von Hochspannungsleitungen eine der beiden Polaritäten häufig stark dominiert; für Wasserfälle gilt dies ebenfalls, hier dominieren stets negative Ladungen. Bei Verkehrsemissionen (und auch allgemein bei Emissionen aus Verbrennungsprozessen) treten hingegen positiv und negativ geladene Partikel etwa paritätisch auf, die Nettoladung beträgt praktisch Null. Dies bedeutet auch, dass methodisch einfache Messungen der Netto-Raumladung, welche die Beiträge von Partikelladungen unabhängig von der Partikelgröße erfassen, hier nicht zur Anwendung kommen. Aus diesem Grund beschränken sich die vorliegenden Messungen der Konzentrationen geladener Partikel im Verkehrsbereich auf Partikel mit Durchmesser kleiner als 40 nm (hier sind die Beiträge von Partikeln mit Ladungszahlen größer als 1 vernachlässigbar, die Messung der Bruttokonzentration kann damit mittels einer methodisch einfachen Messung der Ionenmobilität erfolgen). Beim gegenwärtigen Stand der Forschung kann somit keine definitive Aussage getroffen werden, ob und wie sich der hohe Anteil geladener Partikel auch zu größeren Partikeln fortsetzt.

5.4 ZUSAMMENFASSUNG UND BEWERTUNG DER LITERATURANGABEN SPEZIELL ZUR LADUNGS-INDUZIERTEN DEPOSITIONSERHÖHUNG UND ZU MÖGLICHEN BIOLOGISCHEN UND GESUNDHEITLICHEN WIRKUNGEN

Die meisten einschlägigen Studien vermuteten bzw. untersuchten die folgende mögliche Gesundheits-Wirkung: geladene Partikel werden mit höherer Wahrscheinlichkeit in der Lunge oder im Atemtrakt deponiert als ungeladene Partikel derselben Größe. Verantwortlich dafür ist der sogenannte Spiegelladungs-Mechanismus, welcher die Partikel beider Polaritäten in Richtung Wand zieht, relevant ist damit die Brutto-Ladung. Diese Wirkung wird in der pharmazeutischen Praxis ausgenutzt - beim Einbringen von Medikamenten in der Lunge mittels sogenannter Inhaler - hier wird allerdings mit sehr hohen Ladungszahlen im drei- bis fünfstelligen Bereich gearbeitet. Die meisten Studien zu diesem Thema arbeiteten entsprechend auch mit sehr hohen Ladungszahlen, es existieren aber auch Studien, welche Rückschlüsse auf das Verhalten moderater Partikelladungen, wie man sie windabwärts von Hochspannungsleitungen erwarten würde, gestatten.

Zur Deposition von Partikeln im Allgemeinen (also auch von Neutralpartikeln) existieren umfassende Untersuchungen, welche im sogenannten Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection der International Commission on Radiological Protection (ICRP) zusammengefasst wurden (oft einfach als ICRP-Modell bezeichnet). Demnach unterliegen Partikel zwei Depositions-Mechanismen. Bei der thermodynamischen Deposition handelt es sich um Deposition aufgrund von Diffusion; sie ist umso relevanter, je kleiner ein Partikel und entsprechend höher sein Diffusionskoeffizient ist. Bei der aerodynamischen Deposition handelt es sich um Deposition aufgrund von Massekräften (Sedimentation aufgrund der Gravitation, und Impaktion aufgrund der Trägheit), die Bedeutung stieg somit mit wachsender Größe und damit Masse. Sehr kleine Partikel (etwa 10 nm Durchmesser oder kleiner) werden be-

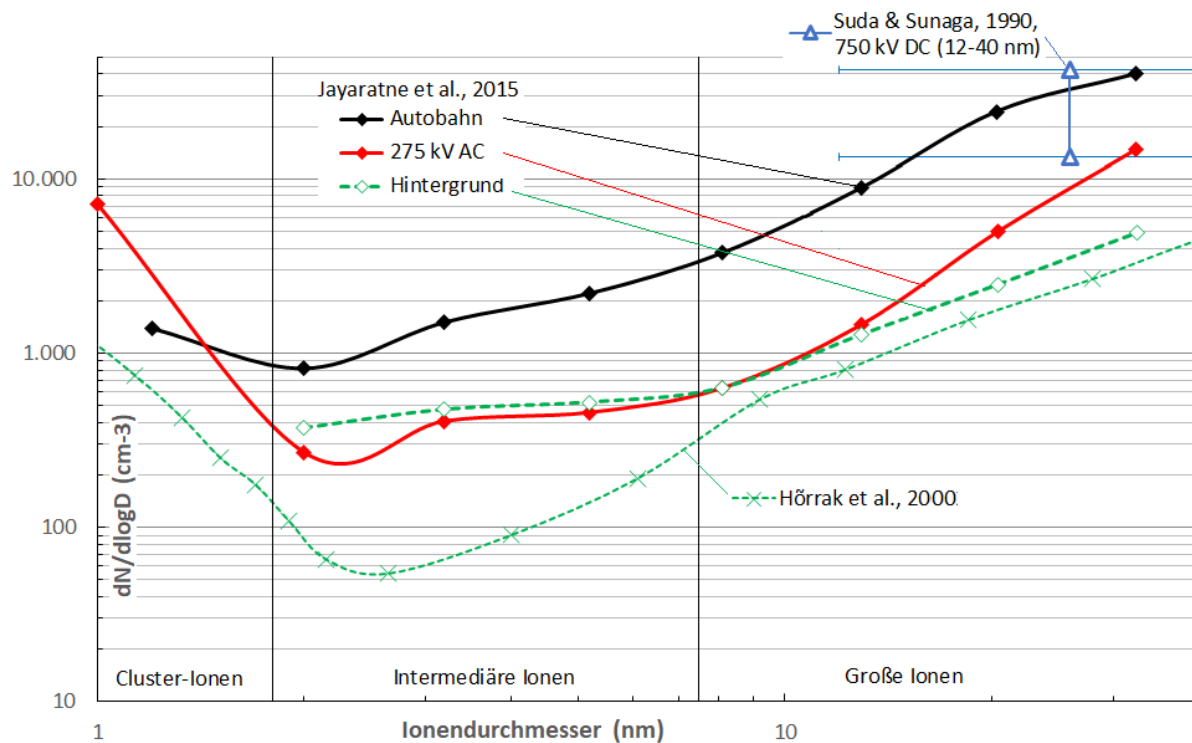


Abbildung 2: Anzahlgrößenverteilung geladener Partikel im Bereich 1-40 nm in verschiedenen Umgebungen, entnommen aus verschiedenen Publikationen. Schwarz: 2-5 m von einer Autobahn. Rot: etwa 10-20 m windabwärts von Wechsellspannungsleitungen (mittlere Spannung 275 kV). Blau: 56 m windabwärts einer 750-kV-Gleichspannungs-Testleitung (nur ein Wert, für den Bereich 12-40 nm). Grün: Verschiedene Messungen im ruralen Hintergrund. Die in der Atmosphärenphysik übliche Dreiteilung der Größenverteilung geladener Partikel in Cluster-, Intermediäre und Große Ionen ist angegeben.

reits im Neutralzustand mit praktisch 100 %iger Wahrscheinlichkeit deponiert. Im mittleren Bereich (größenordnungsmäßig bei etwa 100 nm Durchmesser) erreicht die Depositionswahrscheinlichkeit neutraler Partikel ein Minimum, im Mikrometerbereich ergeben sich dann wieder hohe Depositionswahrscheinlichkeiten bereits für neutrale Partikel.

Die Ladungs-induzierte Deposition lässt sich unter Annahme laminarer Flussbedingungen sowie der Vernachlässigung aller sonstigen Depositionsmechanismen theoretisch einfach abschätzen; es ergibt sich eine lineare Abhängigkeit der Depositionswahrscheinlichkeit von $\sqrt[3]{Dj^2}$ mit D dem Diffusionskoeffizient und j der Ladungszahl. Selbst eine Zugrundelegung dieser theoretischen Abschätzung würde bei moderaten Partikelladungszahlen, wie sie windabwärts von Hochspannungsleitungen erwartet werden, allenfalls im mittleren Bereich (um etwa 100 nm) eine leichte Depositionserhöhung ergeben. Diese würde dann allerdings weder die totale Anzahl deponierter Partikel noch die totale deponierte Partikelmasse signifikant beeinflussen (denn bei typischen Partikelgrößenverteilungen in der Atmosphäre wird erstere durch Partikel um 10 nm dominiert, letztere durch mikrometergroße Partikel).

Abbildung 3 zeigt die Überprüfung der Theorie durch eine vielzitierte italienische Experimentalstudie aus dem Jahr 1983, unter Einsatz von Freiwilligen sowie unter Nutzung von Partikeln mit Durchmesser größer als 300 nm, also im aerodynamischen Bereich. Die Darstellung erfolgte als Funktion eines Parameters K, welcher zu $\sqrt[3]{Dj^2}$ mit D dem Diffusionskoeffizienten und j der Ladungszahl proportional ist. Linien stehen für die ermittelte lineare Regression und eine sich draus ergebende generalisierte Anpassung, und für die theoretische Erwartung. Die dort gemessene differentielle Deposition (Differenz zwischen der Depositionswahrscheinlichkeit von geladenen und von Neutralpartikeln derselben Größe) zeigte in der Tat etwa die theoretisch erwartete lineare Abhängigkeit von $\sqrt[3]{Dj^2}$, der Proportionalitätsfaktor betrug dabei aber weniger als 40 % des erwarteten Faktors; überdies trat eine signifikante Wirkung erst oberhalb einer (vom Partikeldurchmesser abhängigen) Mindestladung ein. Dies grenzt das Potential eines Landungs-induzierten Zusatzeffekts weiter drastisch ein. Spätere Modellstudien, wel-

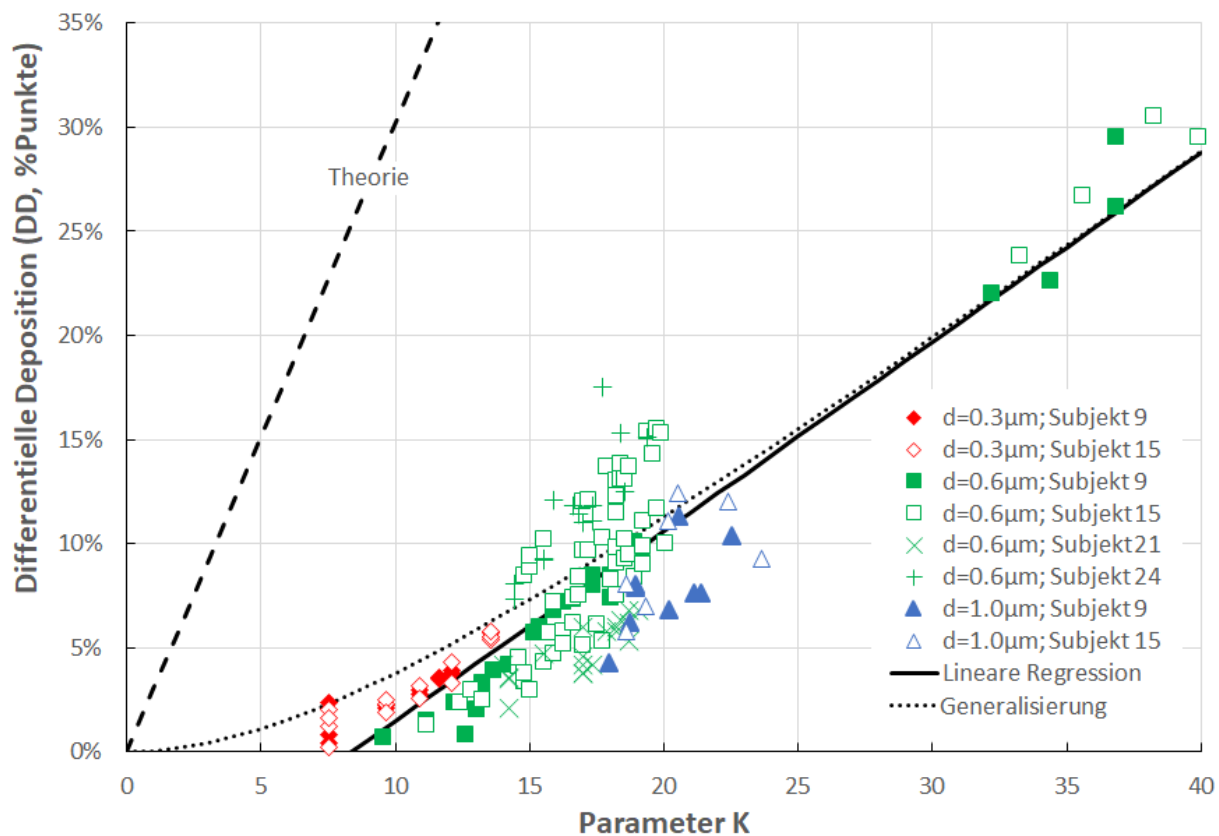


Abbildung 3: *Differentielle Deposition geladener Partikel im Atemtrakt, gemessen in der Experimentalstudie einer italienischen Forschungsgruppe um Claudia Melandri (publiziert 1983) für drei verschiedene Partikelgrößen (rot: 300 nm, grün: 600 nm, blau: 100 nm Durchmesser); unterschiedliche Symbole stehen für unterschiedliche Subjekte (freiwillige Versuchsteilnehmer). Die Darstellung erfolgte als Funktion eines Parameters K (siehe Text).*

che auf diesen experimentellen Ergebnissen beruhen, schlussfolgerten zudem, dass ein Großteil der Ladungs-induzierten Zusatzdeposition bereits in den Bronchiolen stattgefunden haben sollte, d. h. die zusätzliche Ladung entfaltet hier sogar eine Filterwirkung, welche vor dem Erreichen der Lungenbläschen schützt.

Spätere Experimentalstudien mittels leitfähigen Röhren zur Simulation der Atemwege, durchgeführt von einer US-amerikanischen Gruppe um Beverly S. Cohen (publiziert 1995 und 1998) ergaben allerdings, dass sich diese Erkenntnisse wahrscheinlich nicht auf kleinere Partikel extrapolieren lassen, bei welchen die thermodynamische Deposition dominiert. Hier ergaben sich wesentlich höhere Ladungs-induzierte Depositionen als erwartet; vermutlich ist die Annahme eines laminaren Flusses hier unzulässig (die aerodynamische Deposition wird durch Massekräfte verursacht, die thermodynamische Deposition ist hingegen ein statistischer Prozess). Die publizierten experimentellen Ergebnisse unterliegen einer starken Streuung, die Quantifizierung des Effekts ist damit unsicher. Aber auch hier wurde eingeschätzt, dass die zusätzliche Ladung wahrscheinlich nicht zu einer dramatischen Erhöhung der totalen Deposition führt (auch deshalb nicht, weil bei Partikeln mit Durchmesser keiner als 100 nm Mehrfachbelastungen kaum vorkommen); bei typischen atmosphärischen Partikelgrößenverteilungen würden weder die totale Anzahl deponierter Partikel noch die totale deponierte Partikelmasse würden signifikant beeinflusst werden.

Ein wesentlicher Aspekt der hier diskutierten Kausalkette besteht darin, dass die Ladung die Depositionswahrscheinlichkeit der Partikel verstärkt. Welche gesundheitliche Wirkung die deponierten Partikel dann entfalten, hängt somit primär von der physikalischen, chemischen und ggf. biologische Zusammensetzung der Partikel ab, und ist unabhängig von der Ladung. Die Depositionserhöhungen, welche windabwärts von Hochspannungsleitungen auftreten können, müssen somit kontrastiert werden mit

den Depositionserhöhungen, welche einfach aufgrund einer erhöhten Partikelkonzentration in der Luft auftreten, etwa wenn sich die betreffende Person nahe einer verkehrsreichen Straße aufhält.

Einige Studien schlugen auch andere mögliche Kausalwirkungen von Ionen oder geladenen Partikeln vor, hier existieren aber nur wenige fundierte Belege, bzw. die Hypothesen wurden sogar klar widerlegt. So kann beim Stand der Wissenschaft ausgeschlossen werden, dass die primär entstehenden Cluster-Ionen (welche im Wesentlichen aus 3-10 Wassermolekülen bestehen) eine direkte Gesundheitswirkung besitzen. Es kann ebenso ausgeschlossen werden, dass es unter der speziellen elektronischen Umgebung im Umfeld von Hochspannungsleitungen zu einer verstärkten Partikelbildung kommt: gemäß mehreren Studien ist die sogenannte Ionen-induzierte Nukleation unter normalen Temperatur- und Druckbedingungen nahe der Erdoberfläche vernachlässigbar. Andere Studien untersuchten den Effekt, dass die um Hochspannungsleitungen entstehenden elektrischen Felder an stark konvexen Oberflächen verstärkt werden (wie zum Beispiel der Vegetation, aber auch dem Kopfbereich einer Person, welche sich in Leitungsnähe aufhält), dies wiederum führt zu einer Deposition geladener Partikel an dieser Oberfläche. Von Interesse ist hier besonders die Deposition von geladenen Partikeln, welche Radon-Zerfallsprodukte enthalten. Aber auch hier zeigten publizierte Hochrechnungen, dass selbst bei hypothetischem Daueraufenthalt einer Person unter einer Hochspannungsleitung keine dramatische Erhöhung der Deposition zu erwarten wäre (im Vergleich zur Deposition bei einem zeitlich gleich langen Aufenthalt im Freien fernab einer Hochspannungsleitung). Eine verstärkte Deposition an der Vegetation würde praktisch zudem die Konzentration der noch in der Luft befindlichen Partikel verringern.

5.5 IDENTIFIKATION DES WEITEREN FORSCHUNGSBEDARFS

Vor allem vier Bereiche kristallisierten sich heraus, in welchen weiterer Forschungsbedarf besteht:

- Zweidimensionale (als Funktion von Partikel-Durchmesser und Ladungszahl) Messungen der Partikel-Ladungsverteilungen windabwärts von Hochspannungsleitungen, besonders von HGÜ.
- Zweidimensionale Messungen der Partikel-Ladungsverteilungen im Einflussbereich von Verkehrsemissionen.
- Experimentalstudien zum Einfluss der Partikelladung auf die thermodynamische Deposition von Partikeln in leitfähigen Röhren, deren Innendurchmesser den Durchmessern der Atemwegskanäle entspricht.
- Quantifizierung der Deposition von Radon-Folgeprodukten im Umfeld von Hochspannungsleitungen

In diesen Bereichen bestehen noch Erkenntnislücken, trotzdem erscheint es unwahrscheinlich, dass sich hier ein plausibler gesundheitlich wirksamer Kausalmechanismus ergibt, welcher für das Umfeld von Hochspannungsleitungen relevant sein könnte. Keine neuen Erkenntnisse werden hingegen von epidemiologischen Untersuchungen im Umfeld von Hochspannungsleitungen erwartet: In Abwesenheit eines plausiblen Kausalmechanismus kann auch bei Positivbefunden nicht ausgeschlossen werden, dass diese Befunde einfach auf Zufall oder auf Störfaktoren beruhen (d. h. die Häufung bestimmter Krankheiten windabwärts von Hochspannungsleitungen ist zwar real, steht aber nicht kausal mit den Leitungen in Verbindung), Rezenter epidemiologische Studien, auch solche mit einer sehr umfassenden Datenbasis, konnten zudem keine Positivbefunde erbringen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse dienen in erster Linie zur Information der im Wirkungsbereich von Hochspannungsstrassen lebenden Bevölkerung. Die wichtigsten Erkenntnisse sollen auf der BfS-Website zur Verfügung gestellt und der Abschlussbericht auf der Plattform DORIS veröffentlicht werden. Im Rahmen des Forschungsprogramms des BfS zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ ist eine Untersuchung geplant, die die publizierten Ergebnisse zum Einfluss der Partikelladung auf die thermodynamische Deposition in Atemwegs-Modellen tiefergehend überprüfen und Erklärungsansätze für die Abweichung von theoretischen Vorhersagen liefern soll.

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

31.08.2021

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. Wuschek

1. ZIELSETZUNG

Ziel dieses Vorhabens war die Entwicklung und Beschreibung von Messverfahren zur Bestimmung tatsächlicher, typischer und maximal möglicher Immissionen bzw. Expositionen, verursacht durch Signale von 5G-Massive-MIMO¹⁾-Basisstationen mit Beamforming-Antennen im 3,6-GHz-Band an für die Allgemeinbevölkerung zugänglichen Orten. Mit Hilfe der Messverfahren wurden an 100 Immissionsorten im Umfeld von 10 Basisstationen Größe und Spannweite der Expositionsbeiträge bestimmt. Zusätzlich wurden an zehn Immissionsorten die Expositionsbeiträge mit denen von konventionellen Basisstationen (GSM, LTE) in der Summe erzeugten Expositionsbeiträgen verglichen sowie an fünf Immissionsorten über jeweils 24 Stunden die tageszeitabhängigen Expositionsschwankungen der 5G-Signale gemessen.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

Zu Beginn des Projekts wurde der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik aufgearbeitet. Hierbei wurden funktechnisch relevante Spezifikationen des 5G-Standards sowie von Beamforming-Antennen untersucht. Hinsichtlich der Durchführung von Messungen wurden die Spezifikationen verfügbarer codeselektiver Immissionsmessgeräte zusammengetragen sowie nationale und internationale Messempfehlungen untersucht. Des Weiteren wurden Ergebnisse und Erkenntnisse von früher bereits durchgeführten Messungen der Projektnehmer sowie anderer Stellen vorgestellt.

2.2 ENTWICKLUNG UND VORSCHLAG VON VERFAHREN (AP 2)

Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus AP 1 wurden Immissionsmessverfahren zur Bestimmung aktueller, typischer und maximal möglicher Expositionsbeiträge von 5G-Massive-MIMO-Basisstationen vorgeschlagen.

2.3 BESTIMMUNG UND ANALYSE VON IMMISSIONSVERTEILUNGEN UND EXPOSITIONSBEITRÄGEN (AP 3)

Unter Anwendung der in AP 2 vorgeschlagenen Immissionsmessverfahren wurden an 100 Immissionsorten im Umfeld von zehn 5G-Massive-MIMO-Basisstationen aktuelle und maximal mögliche Expositionsbeiträge bestimmt.

¹⁾ multiple input multiple output

2.4 BESTIMMUNG DER GESAMTEXPOSITION DURCH ORTSFESTE MOBILFUNKSENDER UND TAGESZEITABHÄNGIGER SCHWANKUNGEN VON EXPOSITIONSBEITRÄGEN (AP 4)

Zusätzlich wurden an fünf Immissionsorten im Umfeld von zwei 5G-Massive-MIMO-Basisstationen die tageszeitabhängigen Schwankungen der 5G-Expositionsbeiträge über jeweils 24 Stunden ermittelt. Des Weiteren wurden an zehn der 100 Immissionsorte typische und maximal mögliche Expositionsbeiträge im gesamten Mobilfunk-Downlink-Frequenzbereich bestimmt (GSM, LTE, 5G).

3. METHODIK

Der relevante Stand von Wissenschaft und Technik wurde basierend auf einer Literaturrecherche unter Verwendung einschlägiger Datenbanken (für wissenschaftliche Publikationen) sowie Online-Suchen (z. B. für technische Spezifikationen) ermittelt.

Die vorgeschlagenen Immissionsmessverfahren zur Bestimmung aktueller, typischer und maximal möglicher Expositionsbeiträge von 5G-Massive-MIMO-Basisstationen wurden sowohl unter Feldbedingungen an Anlagen im Wirkbetrieb als auch, sofern möglich, unter kontrollierten Laborbedingungen erprobt und validiert. Es wurden sowohl frequenzselektive als auch codeselektive Messverfahren erarbeitet.

Für die Durchführung der Messungen zur Charakterisierung der Expositionen wurden die Immissionsorte bewusst so ausgewählt, dass hinsichtlich des Abstands und der Sichtverbindung zur Basisstationen-antenne als auch hinsichtlich des Horizontalwinkels zur Basisstation eine ausreichende Heterogenität vorlag. Die für die Messungen ausgewählten Standorte repräsentieren in etwa die zum Zeitpunkt der Planungen vorherrschenden Anteile der bei den Netzbetreibern eingesetzten Systemtechnikhersteller im 5G-Netz bei 3,6 GHz.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik wurde in einem ersten Zwischenbericht dokumentiert. Die Vorgehensweise bei der Entwicklung und der Vorschlag der Immissionsmessverfahren zur Bestimmung aktueller, typischer und maximal möglicher Immissions- bzw. Expositionsbeiträge von 5G-Massive-MIMO-Basisstationen wurde im Rahmen eines zweiten Zwischenberichts dokumentiert. 2021 wurden die Messungen für AP 3 und AP 4 konzeptionell geplant, geeignete 5G-Basisstationen unter Beachtung der in Abschnitt 3 aufgeführten Kriterien ausgewählt und die Immissionsmessungen durchgeführt sowie ausgewertet.

5. ERGEBNISSE

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

Durch Recherchen zum Aufbau des Physical Layers und der Signalstruktur bei 5G konnten Randbedingungen zur Entwicklung geeigneter Messverfahren abgeleitet werden. Des Weiteren wurden typische Aufbauten/Größen von Massive-MIMO-Antennen sowie typische Herstellerangaben für die äquivalente isotrope Strahlungsleistung (EIRP) recherchiert. Ferner wurden Messgeräte basierend auf den Angaben in den jeweiligen Datenblättern hinsichtlich ihrer Eignung zur Durchführung von codeselektiven Immissionsmessungen analysiert.

Im Rahmen der Untersuchung von aktuell existierenden Messempfehlungen, bei denen der Fokus auf der Bestimmung der maximal möglichen Exposition liegt, wurden zwei unterschiedliche Herangehensweisen identifiziert: Bei der direkten Messung wird die Ausrichtung eines Traffic Beams mit maximaler EIRP zum Messpunkt erzwungen, wohingegen bei der Extrapolation ein Referenzsignal gemessen und anschließend auf Maximalexposition hochgerechnet wird. Die Messung des Referenzsignals erfolgt entweder frequenz- oder codeselektiv. Bei bisherigen Arbeiten der Auftragnehmer sowie anderer Stellen (z. B. der Universität Gent) wurden ausschließlich frequenzselektive Messungen durchgeführt.

5.2 ENTWICKLUNG UND VORSCHLAG VON VERFAHREN (AP 2)

Es wurden Messverfahren zur Bestimmung aktueller, typischer (frequenzselektiv) sowie maximal möglicher Expositionsbeiträge (frequenz- und codeselektiv) vorgeschlagen und unter Laborbedingungen validiert. Die Verfahren zur Bestimmung maximal möglicher Expositionsbeiträge wurden zusätzlich unter Feldbedingungen an einer Anlage im Wirkbetrieb erprobt. Darüber hinaus wurden verschiedene Verfahren zur Hochrechnung auf maximal mögliche Exposition analysiert und miteinander verglichen. Abschließend wurden vorbereitend für die Vor-Ort-Messungen exemplarisch unterschiedliche Expositionsszenarien definiert. Diese umfassen neben der aktuellen Immission ohne provozierten Verkehr auch die Immission bei typischer Nutzung eines Endgeräts sowie bei maximaler Auslastung durch ein Endgerät am Immissionsort. Des Weiteren wurden auch Fälle definiert, bei denen der Beam azimuthal bzw. radial verschoben ist, so dass der Immissionsort nicht optimal im Einwirkungsbereich der Hauptkeule liegt.

5.3 BESTIMMUNG UND ANALYSE VON IMMISSIONSVERTEILUNGEN UND EXPOSITIONSBEITRÄGEN SOWIE DER GESAMTEXPOSITION DURCH ORTSFESTE MOBILFUNKSENDER

Bei den Immissionsmessungen an jeweils zehn systematisch ausgewählten Immissionsorten im Umfeld von zehn 5G-Anlagen mit Massive-MIMO-Antennen im 3,6-GHz-Band wurde zum einen die zur Messzeit vorherrschende aktuelle Immission (Momentanimmission) ohne provozierte Auslastung und zum anderen die „typische Immission“ (d. h. die bei einer typischen Nutzung wie TV-Live-Streaming auftretende Immission) sowie durch direkte Messung die bei Maximalauslastung (provoziert durch ein Endgerät in der Nähe des Immissionsortes) vorhandene Maximalimmission bestimmt. Zusätzlich zur typischen Immission bei Ausrichtung eines Traffic Beams auf den Immissionsort wurde für mehr als die Hälfte der Immissionsorte die typische Immission für den Fall bestimmt, dass der abgestrahlte Traffic Beam entweder horizontal oder radial in einen anderen Bereich der Zelle ausgerichtet war. An jeweils zwei Immissionsorten im Umfeld von fünf Basisstationen wurden außerdem die momentanen sowie die maximalen Immissionen durch GSM, LTE und LTE/5G-DSS (Dynamic Spectrum Sharing, passive Mobilfunkantennen) bestimmt.

Die höchste festgestellte Maximalimmission (Anzahl der Messpunkte $n = 96$) beträgt 28,9 % vom Feldstärkegrenzwert (17,7 V/m), die niedrigste 0,2 % (0,15 V/m). Somit zeigt sich eine sehr große Spannweite von mehr als 40 dB. Bei Immissionsorten mit Sicht zur Anlage (line-of-sight, LOS; $n = 56$) ist die Spannweite mit 27 dB deutlich niedriger. Die leistungsbezogen gemittelte Maximalimmission über alle Messpunkte liegt bei 9,3 % vom Feldstärkegrenzwert (5,7 V/m) und der Median bei 4,7 % (2,9 V/m). Insgesamt zeigt sich bei den Maximalimmissionen im Vergleich zu den Ergebnissen der Vorgängerstudien zu LTE und UMTS eine Verbreiterung der Häufigkeitsverteilung hin zu höheren Immissionswerten. Diesbezüglich sei allerdings darauf hingewiesen, dass in vorliegendem Vorhaben nur systematische Messpunkte ausgewählt wurden, die tendenziell häufiger eine Sichtverbindung zur Antenne und damit überdurchschnittliche Immissionen aufwiesen, während die Messpunkte in den Vorgängerstudien zum Teil auch zufällig ausgewählt wurden.

Die höchste festgestellte typische Immission (TV-Streaming, $n = 97$) bei Ausrichtung des Traffic Beams auf den Immissionsort beträgt 1,3 % vom Feldstärkegrenzwert (0,8 V/m), die niedrigste 0,04 % (0,03 V/m, Nachweisschwelle des Messgeräts), was bedeutet, dass die reale typische Immission an einigen Punkten durchaus auch noch niedriger gewesen sein kann.

Die Spannweite beträgt an Immissionsorten mit Sicht zur Anlage (LOS, $n = 57$) und an Immissionsorten ohne Sicht zur Anlage (NLOS, $n = 40$) jeweils knapp 30 dB. Über alle Messpunkte ist die Spannweite mit gut 30 dB nur unwesentlich höher. Die leistungsbezogen gemittelte typische Immission über alle Messpunkte liegt bei 0,4 % vom Feldstärkegrenzwert (0,27 V/m) und der Median bei 0,2 % (0,12 V/m).

Bei der Momentanimmission ohne provozierte Auslastung der Funkzelle ($n = 100$) beträgt das Maximum 1,1 % vom Feldstärkegrenzwert (0,67 V/m), das Minimum 0,04 % (0,03 V/m, Nachweisschwelle des Messgeräts), was analog zur typischen Immission bedeutet, dass die reale Momentanimmission an einigen Punkten auch noch niedriger gewesen sein kann. Die Spannweite über alle Messpunkte liegt mit 29 dB in einer ähnlichen Größenordnung wie bei der typischen Immission. An Messpunkten ohne Sicht zur Anlage (NLOS, $n = 40$) fällt die Spannweite mit 22 dB im Vergleich zu Messpunkten mit Sicht zur Anlage (LOS, $n = 60$, 27 dB) jedoch niedriger aus, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass in NLOS-Situationen häufig Messwerte in der Größenordnung der Nachweisgrenze auftreten. Dies zeigt

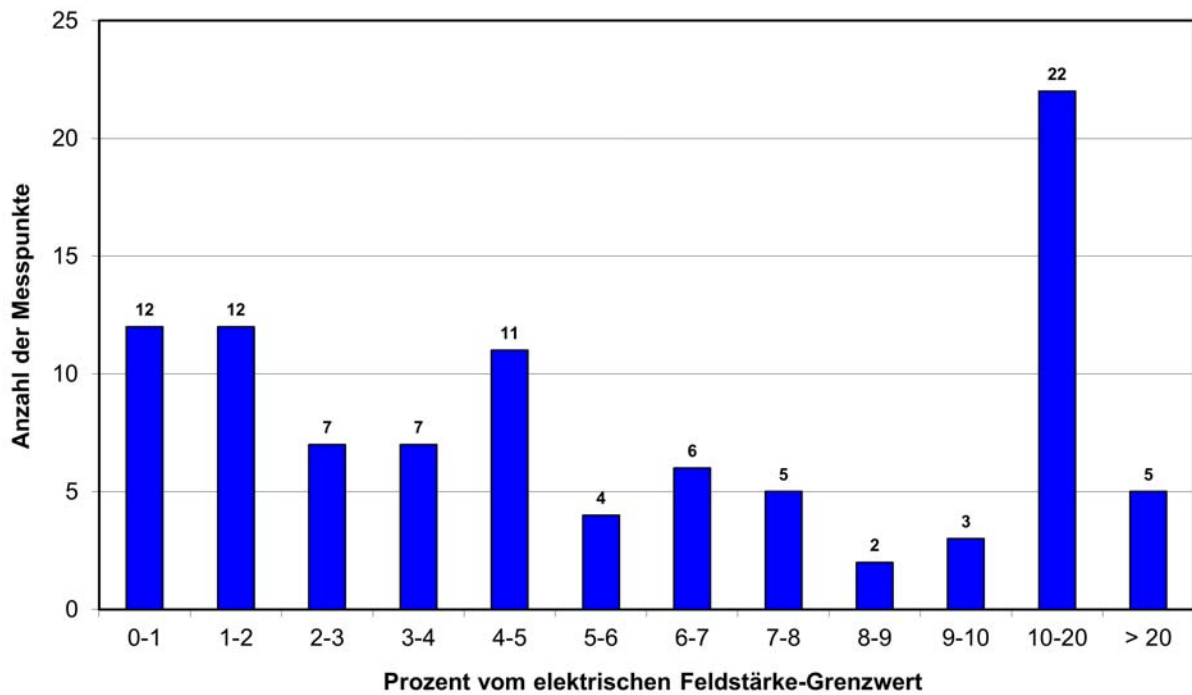


Abbildung 1: Verteilung der Werte der maximalen 5G-Immissionen in Grenzwertausschöpfungsbereiche.

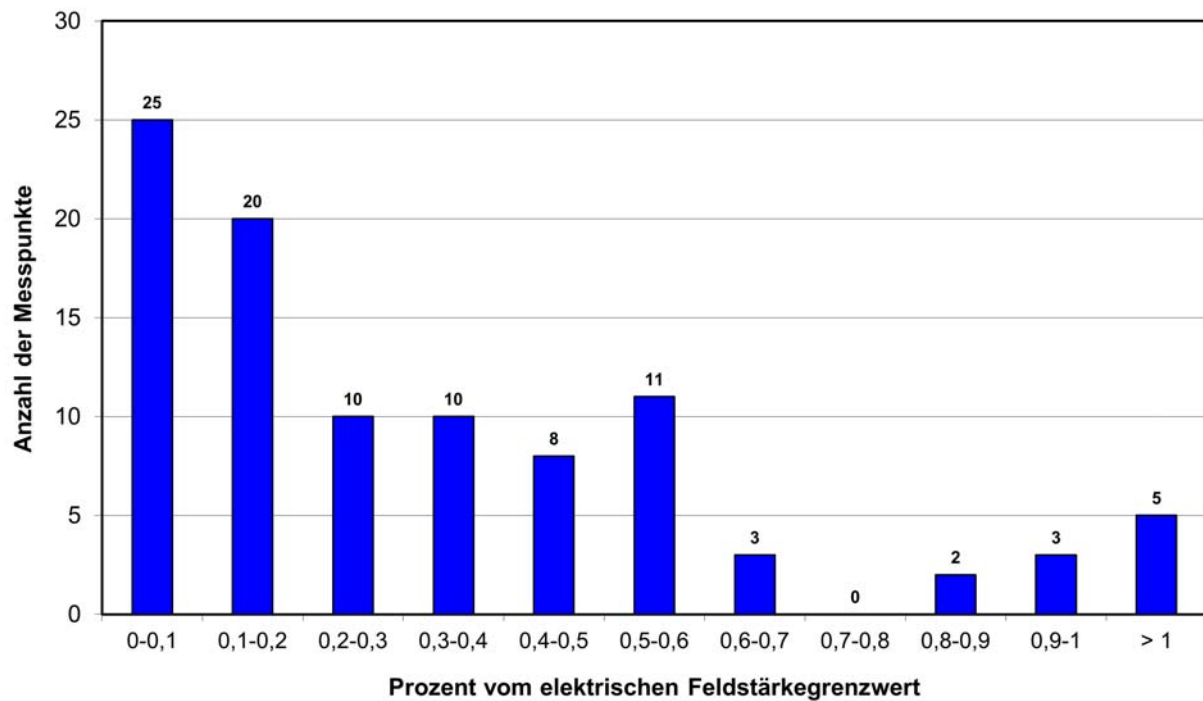


Abbildung 2: Verteilung der Werte der typischen 5G-Immissionen in Grenzwertausschöpfungsbereiche.

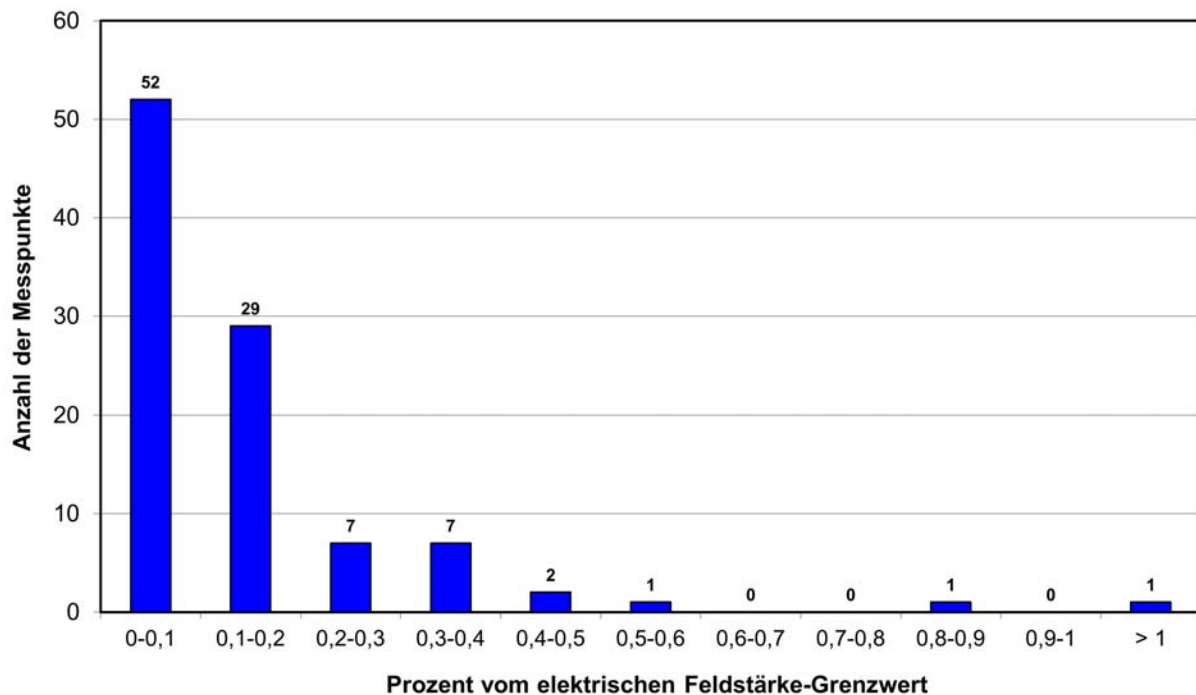


Abbildung 3: Verteilung der Werte der momentanen 5G-Immissionen in Grenzwertausschöpfungsbereiche.

sich auch in der Häufigkeitsverteilung der Momentanimmission, bei der sehr kleine Messwerte deutlich dominieren.

Die zur Messzeit vorherrschende Momentanimmission liegt auf Grund der sehr niedrigen Auslastung größtenteils noch sehr nahe bei der theoretisch abgeschätzten Minimalimmission (0,01 % bis 0,4 % des Feldstärkegrenzwerts), die im Leerlauf der Anlage entsteht. Das verdeutlicht aber auch, dass eine 5G-Basisstation ohne Auslastung nur sehr geringe Hochfrequenzimmissionen generiert. Selbst eine typische Nutzung durch ein Endgerät am Immissionsort erzeugt Immissionen, die immer noch deutlich unter dem Maximalwert liegen. Ein Vergleich der Medianwerte von Maximal- und Momentanimmission zeigt einen Unterschied von 35,4 dB (d. h. zirka Faktor 3 450 bezüglich der Leistung). Die Unterschiedsfaktoren an den einzelnen Messpunkten bewegten sich hierbei zwischen etwa 7 dB und 48 dB. Nur an sechs der 96 Messpunkte ergab sich ein Unterschiedsfaktor von weniger als 20 dB.

An zehn Immissionsorten im Umfeld von fünf 5G-Anlagen wurde die Momentan- sowie die Maximalimmission durch alle am Standort in Betrieb befindlichen Mobilfunksignale (GSM, LTE, LTE/5G-DSS und 5G im 3,6-GHz-Band) und -frequenzbänder bestimmt. An keinem der Standorte war TETRA-BOS installiert. Zudem war UMTS an keinem der Standorte mehr in Betrieb. An allen zehn Immissionsorten fällt die momentane Gesamtmission durch GSM, LTE und LTE/5G-DSS höher aus, als die momentane und typische 5G-Immission. An neun von zehn Immissionsorten ist auch die Momentanimmission mindestens eines Frequenzbands von GSM, LTE oder LTE/5G-DSS höher als die momentane sowie die typische 5G-Immission (dies betrifft sowohl die Feldstärke als auch die Grenzwertausschöpfung). Lediglich an einem Messpunkt tritt die größte absolute Feldstärke bei typischer 5G-Nutzung auf. Aufgrund des niedrigeren Grenzwerts wird die höchste Grenzwertausschöpfung jedoch durch LTE-Signale im 800-MHz-Band hervorgerufen. Bei den Maximalimmissionen ergibt sich kein einheitliches Bild: An sechs der zehn Immissionsorte (jeweils an beiden untersuchten Immissionsorten im Umfeld von drei der fünf untersuchten 5G-Anlagen) dominieren die Immissionen durch die Summe der Maximalimmissionen von GSM, LTE und LTE/5G-DSS. An den verbleibenden vier Immissionsorten (jeweils beide untersuchte Immissionsorte im Umfeld von zwei der fünf untersuchten 5G-Anlagen) dominiert 5G. Der Unterschiedsfaktor besitzt eine große Spannweite, er bewegt sich zwischen etwa -19 dB (d. h. 5G dominiert) und 7 dB (d. h. andere Mobilfunkimmissionen dominieren). Absolut gesehen lagen an diesen zehn Punkten

die maximalen 5G-Immissionen bei Grenzwertausschöpfungen im Bereich zwischen 0,7 % (0,4 V/m) und 25,5 % (15,5 V/m).

Die statistischen Auswertungen der Werte der drei 5G-Immissionsarten („aktuell“, „typisch“, „maximal“) in Abhängigkeit von der Lage der Outdoor-Immissionsorte in Relation zur 5G-Antenne zeigen, dass es offenbar nicht gerechtfertigt ist, den *Abstand* zwischen Immissionsort und Basisstationsantenne als allein maßgebliches Kriterium für die Beurteilung der Immissionsgröße zu verwenden. Ein Grund dafür ist, dass in diesem Entfernungsbereich die Immission sehr stark durch die Nebenkeulen und Einzüge des stark bündelnden vertikalen Antennendiagramms geprägt ist. Durch die Fähigkeit der Antennen, ihre vertikale Hauptsenderichtung zu verändern, wird sich zwar der Entfernungsbereich, in dem sich Immissionsorte nur im Bereich der Nebenkeulen befinden, verkleinern, jedoch kann hierzu ohne Kenntnis der konkreten Anlagenparameter (vertikaler Schwenkbereich der Antenne) keine Vorhersage getroffen werden. Für eine bestimmte Entfernung zum Anlagenstandort beträgt die Spannweite der gemessenen Immission teilweise bis zu etwa 30 dB.

Einen deutlichen Einfluss auf die Größe der Immission üben die *Sichtverhältnisse* zwischen Immissionsort und 5G-Antenne aus. Bei den verhältnismäßig hohen Frequenzen (um 3,6 GHz) haben Gebäude und selbst Bäume und Sträucher einen stark dämpfenden Einfluss. Gleichzeitig sei aber auch erwähnt, dass es durch Reflexionen sowie durch Kantenbeugung an Gebäuden auch in NLOS-Situationen zu Immissionswerten kam, die ansonsten in Situationen mit LOS zur Anlage und bei ähnlichen Entfernungen auftraten.

Der Einfluss des *Vertikalwinkels* zwischen Antenne und Immissionsort auf die entstehende Immission hat sich gegenüber den Ergebnissen von ähnlichen Messungen an Mobilfunksystemen ohne Massive-MIMO-Antennen verändert. Offensichtlich kann nicht mehr davon ausgegangen werden, dass die Immissionen bei kleineren Vertikalwinkeln ($< 10^\circ$) gegenüber denen bei großen Winkeln in der Regel höher ausfallen. Die im Mittel höchsten Maximalimmissionen treten bei den untersuchten Anlagen sogar im Vertikalwinkelbereich zwischen 15° und 20° auf.

Die genaue *Ausrichtung des Beams* hat einen signifikanten Einfluss auf die entstehende Immission. Neben der typischen Immission, während sich das Endgerät in unmittelbarer Nähe zum Immissionsort befand („UE nah“), wurden weitere Messungen der typischen Immission unter der Randbedingung durchgeführt, so dass sich das aktive Endgerät nicht mehr am Immissionsort, sondern in einem größeren Abstand von einigen zehn Metern dazu befand („UE fern“), wodurch es aus Sicht des Immissionsortes zu einer azimutalen oder radialen Verschiebung des ausgerichteten Traffic Beams kam. Der Unterschied der Medianwerte für das Szenario „UE nah“ und das Szenario „UE fern“ beträgt etwa 7,5 dB. Die Ergebnisse zeigen, dass in Bereichen der Funkzelle, die sich nicht im Einwirkungsbereich des Beams (Hauptkeule) befinden, die Immissionen geringer ausfallen. Aufgrund von Reflexionen sowie der Aussendung über Nebenkeulen ist die Immission trotz Ausrichtung auf einen anderen Ort in der Zelle jedoch weiterhin messbar.

5.4 BESTIMMUNG TAGESZEITABHÄNGIGER SCHWANKUNGEN VON EXPOSITIONSBEITRÄGEN

Langzeitmessungen an insgesamt fünf unterschiedlich gelegenen Messpunkten über jeweils 24 Stunden im Umfeld je einer 5G-Anlage (3,6 GHz-Band) in städtischer bzw. in ländlicher Umgebung haben gezeigt, dass nur sehr sporadisch Nutzer aktiv waren, was anhand von einzelnen Spitzen der Momentanimmissionswerte zu beobachten ist. Beim nachträglich errechneten gleitenden 6-Minuten-Mittelwert der Immission zeigen sich jedoch kaum Auswirkungen durch die nur kurzzeitig auftretenden Immissionsspitzen. Zu einem Großteil der Zeit war die gemessene Momentanimmission an den meisten Messpunkten so niedrig, dass sie im Bereich der Detektionsschwelle des Messgeräts liegt. Bei Nachstellung einer typischen Datenverkehrssituation in der Zelle durch ein Endgerät am Immissionsort konnte der 6-Minuten-Mittelwert der Immission lediglich beim Download einer 1 GB großen Datei signifikant erhöht werden. Andere provozierte Szenarien wie Surfen oder Video-Streaming erzeugten zwar sporadisch Immissionsspitzen, die jedoch so selten auftraten, dass sie sich nicht sichtbar auf den 6-Minuten-Mittelwert auswirkten. Die absolute Größe der Immissionsspitzen hing dabei in hohem Maße von der Lage des Messpunktes ab. An einem höher gelegenen indoor-Messpunkt direkt gegenüber der Anlage nahmen sie Werte von bis zu 9,0 % vom Feldstärkegrenzwert an (5,5 V/m). An Messpunkten in größerer Entfernung oder mit größeren Vertikalwinkeln zur Anlage waren sie mit 0,2 % vom Feldstärkegrenzwert hingegen deutlich kleiner (0,1 V/m).

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das Forschungsvorhaben hat die Datenlage über die Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber hochfrequenten Feldern um Informationen über die Beiträge von Mobilfunkseanlagen mit Antennen, die Beamforming nutzen, ergänzt und damit insgesamt weiter verbessert. Die Ergebnisse des Vorhabens tragen dazu bei, die gesundheitlichen Risiken für die Bevölkerung zu ermitteln, die von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern im Alltag ausgehen. Sie dienen der Information der Fachöffentlichkeit und der interessierten allgemeinen Öffentlichkeit und werden für die Risikokommunikation genutzt. Die gewonnenen Erkenntnisse über anwendbare Immissionsmessverfahren werden genutzt, um die Standardisierung von Messverfahren in den zuständigen Normungsgremien konstruktiv fortzuentwickeln.

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 electromagnetic 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 / KEMF

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:

1. **M8808:** *Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen* (http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/biologie/biologie_abges/bio_080.html). Diese Studie wurde im Rahmen des DMF (2003 - 2007) an gesunden jungen Männern (18 - 30 Jahre) mit GSM und UMTS bei jeweils 2 W/kg durchgeführt.
2. **FM8846:** *Probandenstudie zur Untersuchung des Einflusses der für TETRA genutzten Signalcharakteristik auf kognitive Funktionen* (<https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/ergebnisse/tetra/studie-kognitive-funktionen.html>). Die von der BDBOS finanzierte Studie (2009 - 2013) wurde ebenfalls an gesunden jungen Männern bei TETRA 1,5 W/kg und TETRA 6 W/kg durchgeführt.
3. **3614S30012:** *Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Frauen* (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019013117414>). Untersucht wurden Frauen im Alter von 60 - 80 Jahren bei GSM 2 W/kg und TETRA 6W/kg (2014 - 2016).
4. **3616S82430:** *Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer* (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019101519604>). Untersucht wurden Männer im Alter von 60 - 80 Jahren bei GSM 2 W/kg und TETRA 6W/kg (2016 - 2019).

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:

1. junge Männer vs. ältere Männer bei GSM 2 W/kg (Studie 1. und 4.)
2. junge Männer vs. ältere Männer bei TETRA 6 W/kg (Studie 2. und 4.)
3. ältere Frauen vs. ältere Männer bei GSM 2 W/kg (Studie 3. und 4.)
4. ältere Frauen vs. ältere Männer bei TETRA 6 W/kg (Studie 3. und 4.)

Diese Vergleiche sollen für die Makrostruktur des Schlafes inklusive einer subjektiven Bewertung des Nachtschlafes, die Powerspektralwerte des Schlaf- und des Wach-EEGs sowie für einige Ergebnisparameter der am Tage durchgeführten psychophysiologischen Experimente und kognitiven Tests erfolgen.

2.1 MAKROSTRUKTUR DES SCHLAFES

Es wurden insgesamt 30 Ergebnisparameter mit geeigneten statistischen Methoden vergleichend analysiert.

2.2 POWERSPEKTRALWERTE DES SCHLAF- UND WACH-EEGS

Es erfolgte eine vergleichende statistische Auswertung von Powerspektralwerten nach Spektrallinien und nach Frequenzbändern mit geeigneten Methoden.

2.3 KOGNITIVE LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Alle Ergebnisparameter zur kognitiven Leistungsfähigkeit, bei denen in mindestens einer der vier durchgeführten Studien ein Expositionseffekt festgestellt werden konnte, wurden mit geeigneten statistischen Methoden vergleichend analysiert.

3. METHODIK

Bevor die statistische Auswertung vorgenommen werden konnte, musste zunächst eine Vergleichbarkeit der Daten hergestellt werden. Dafür war eine Reihe von Neuauswertungen der bereits vorliegenden Daten sowie eine erneute Bestimmung der zu analysierenden Ergebnisparameter notwendig. 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, wurden robuste Mittelwerte für die jeweils drei Untersuchungstage bzw. -nächte mit gleicher Exposition die Basis für die statistische Analyse von Expositionseffekten herangezogen. Als statistisches Testverfahren wurde zum einen eine paarweise Analyse auf der Ebene individueller Unterschiede zwischen der jeweiligen Verumexpositionsbedingung und der Scheinexpositionsbedingung angewandt. Dafür wurde der t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt. Die Schlaf- und Wach-EEG-Leistungsspektren der einzelnen Spektrallinien wurden dagegen mit einem Permutationstest analysiert, der auf einem t-Test für abhängige Stichproben in Kombination mit der Maximum-Statistik zur Korrektur des Problems multipler Tests basiert. Allerdings wurde hierfür nicht die klassische Teststatistik herangezogen, sondern mittels der Methode der „schwellenwertfreien Cluster-Erweiterung (engl. Threshold-free cluster enhancement; TFCE)“ eine zusätzliche Teststatistik bestimmt. Zum anderen kam eine Varianzanalyse mit Messwiederholung zum Einsatz. Dabei handelt es sich um ein gängiges Analyseverfahren für abhängige Stichproben, welches häufig Anwendung bei der Auswertung von Cross-over-Studien findet. In diesem statistischen Modell fand dann der messwiederholte Faktor „Exposition“ sowie je nach Fragestellung entweder das Geschlecht oder das Alter als weiterer Zwischensubjektfaktor Berücksichtigung.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 NEUAUSWERTUNG VON DATEN

Die notwendigen Maßnahmen für die Neuauswertung der Daten umfassten die Anwendung 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 Anwendung 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 mussten mit einer vereinheitlichten Bettzeit von 7,5 Stunden neu berechnet werden, um eine Vergleichbarkeit herzustellen (bei den jungen Probanden betrug die Bettzeit 8 Stunden, bei den Älteren jedoch nur 7,5 Stunden). Ausgewertet werden sollen insgesamt 20 Parameter der Makrostruktur des Schlafes, je zwei Parameter zu Aufwachereignissen und der Anzahl der Stadienwechsel in der Nacht sowie sechs Arousal-Parameter.

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, welcher 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, war 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 musste 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 wurden die Powerspektralwerte aber noch logarithmisch transformiert, da diese in der Regel starke Abweichungen von einer Normalverteilung aufwiesen.

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, war eine vorherige Korrektur dieser Artefakte im EEG. Für eine korrekte Arbeitsweise musste diese Korrektur der Augenartefakte allerdings anhand von Aufzeichnungen, die überwiegend Augenbewegungen und Lidschläge enthalten, kalibriert werden. Die Vorgehensweise dazu war für die Studien bestmöglich zu vereinheitlichen und musste 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 erlaubten. Auch hier erfolgte vor der statistischen Auswertung eine logarithmische Transformation der Daten.

4.4 KOGNITIVE LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Wie beim Wach-EEG erfolgte auch für alle anderen EEG-basierten Ergebnisparameter aus den psychophysiologischen Experimenten eine vereinheitlichte Augenartefaktkorrektur. Da sich im Laufe der Zeit auch die Methode zur Bestimmung der ereigniskorrelierten Potentiale geändert hatte, waren diese Berechnungen ebenfalls zu vereinheitlichen. Bei einigen der kognitiven Aufgaben wurde die Testdurchführung dem Alter der Testpersonen entsprechend angepasst, weswegen einzelne Ergebnisparameter

für die Untersuchung von Altersunterschieden neu auszuwerten waren, um die Vergleichbarkeit sicherzustellen. Dies betrifft z. B. die Anzahl von Versuchsdurchgängen bzw. eine einheitliche Testdauer.

5. ERGEBNISSE

5.1 MAKROSTRUKTUR DES SCHLAFES

Der paarweise Auswerteansatz ergab, dass die Makrostruktur des Schlafes der älteren Frauen die stärksten Veränderungen unter Hochfrequenzeinfluss zeigte, und zwar unabhängig von dem verwendeten Expositionssignal. Insbesondere betraf dies die Latenzen zum Tief- und REM-Schlaf. Aus der varianzanalytischen Auswertung ging zum einen hervor, dass das Auftreten von Arousals bei älteren Frauen und Männern vergleichbaren expositionsbedingten Veränderungen unterlag (Reduktion unter Verumexposition), und zum anderen, dass geschlechtsspezifische Expositionseffekte gegenüber altersspezifischen Expositionseffekten überwogen, zumindest im Hinblick auf die objektiv gemessenen Schlafparameter. Die Auswertung der Schlafmakrostrukturparameter zur Beschreibung des ersten und letzten Schlafviertels lieferten außerdem keine Hinweise darauf, dass unter Ausklammerung der betroffenen Latenzparameter bestimmte Expositionseffekte eher zu Beginn oder am Ende der Nacht bei einer kontinuierlichen Exposition über die gesamte Nacht auftreten.

5.2 SCHLAF-EEG

Die paarweise Auswertung der Powerspektralwerte des Schlaf-EEGs auf der Ebene der Frequenzbänder ergab, dass Expositionseffekte in Form einer verminderten Spektralleistung unter der GSM900-Befeldung bei den älteren Frauen überwiegend auf frontale Ableitungen in höherfrequenten Bereichen der Schlafstadien N2, N3 und im NREM-Schlaf beschränkt waren. Bei den älteren Männern traten unter der GSM900-Befeldung topographisch vergleichbare Verringerungen der EEG-Power in diesen Frequenzbereichen lediglich im Stadium N2 auf. Dafür zeigten sich aber in dieser Stichprobe während des N2-, N3- und des gesamten NREM-Schlafes reduzierte Spektralleistungen in den langsamen Frequenzbändern an mehreren posterior gelegenen Elektrodenpositionen. Bei den jüngeren Männern konnten unter einer GSM900-Befeldung insgesamt weniger Expositionseffekte festgestellt werden. Am stärksten waren in dieser Stichprobe die langsamen Frequenzbereiche im NREM-Schlaf betroffen, deren EEG-Power an mehreren Elektroden unter der Verumexposition zunahm. Dementsprechend ließ sich in der gemischten ANOVA mit GSM900 als Verumexpositionsbedingung eine deutlich größere Anzahl an altersspezifischen Expositionseffekten auf die Power im Schlaf-EEG beobachten. Eine TETRA-Befeldung war bei den älteren Frauen zum einen für das Schlafstadium N2 und den gesamten NREM-Schlaf mit einer Abnahme der EEG-Power an frontalen Elektrodenpositionen in höherfrequenten Bereichen, und zum anderen für die Schlafstadien N1, N2 und den gesamten NREM-Schlaf mit einer globalen Zunahme der EEG-Power in den langsamen Frequenzbereichen verbunden. Bei den älteren Männern zeigte sich für die Schlafstadien N1, N2 und den gesamten NREM-Schlaf unter der TETRA-Exposition eine Abnahme der EEG-Power, welche insbesondere die höheren Frequenzbereiche inklusive des Alphabandes betraf und im Vergleich zu dem beobachteten Effekt bei den älteren Frauen etwas großflächiger war. Bei den jüngeren Männern konnten auch unter der TETRA-Exposition insgesamt wenig Expositionseffekte festgestellt werden. Expositionsabhängige Veränderungen in Form einer reduzierten EEG-Power zeigten sich lediglich im Schlafstadium N1, und hier insbesondere in den hochfrequenten Bereichen. Im Gegensatz zur GSM900-Expositionsbedingung ergab die varianzanalytische Auswertung ein deutliches Übergewicht an geschlechtsspezifischen Expositionseffekten. Insgesamt betrachtet lässt sich unabhängig von der Art der Verumexpositionsbedingung festhalten, dass das Schlaf-EEG älterer Personen unter einer Hochfrequenzexposition stärker verändert ist als das von jungen Männern. Die Auswertung der Powerspektralwerte des Schlaf-EEGs auf der Ebene der Spektrallinien bestätigte die Erkenntnisse, die aus der Analyse der Frequenzbänder gewonnen werden konnten. Werden allerdings die gegen multiple Tests korrigierten TFCE-Statistiken bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt, ergibt sich, dass lediglich das Schlaf-EEG von älteren Männern unter der TETRA-Exposition verändert ist.

5.3 WACH-EEG

Im Vergleich zum Schlaf-EEG waren Veränderungen der EEG-Power im Ruhe-EEG unter Hochfrequenzexposition insgesamt nur sporadisch zu beobachten. Die Ergebnisse legen nahe, dass das Ruhe-EEG der jungen Männer am stärksten von einer Hochfrequenzexposition beeinflusst wurde. Im Delta-Band sind unter beiden Verumexpositionsbedingungen, und im Theta- und Beta-Band unter der TETRA-Expositionsbedingung statistisch signifikant erhöhte EEG-Powerwerte an mehreren Elektroden gefunden worden. Das Ruhe-EEG der älteren Frauen sowie das Ruhe-EEG der älteren Männer war unter der jeweiligen Hochfrequenzbefeldung deutlich weniger bis gar nicht verändert. Entsprechend zeigten sich im varianzanalytischen Auswerteansatz überwiegend altersspezifische Expositionseffekte. Die paarweisen Analysen zwischen der jeweiligen Verumexpositionsbedingung und der Scheinbefeldung auf der Ebene der Spektrallinien spiegelten im Wesentlichen die Befunde auf der Ebene der Frequenzbänder wider. Unter Verwendung der TFCE-Statistik und einer anschließenden Kontrolle des Fehlers 1. Art blieb allerdings keiner der beobachteten Effekte statistisch signifikant.

5.4 EREIGNISKORRELIERTE POTENTIALE

Leichte physiologische Variationen in Abhängigkeit von der Exposition zeigten auch einige Komponenten der langsamen kortikalen Potentiale sowie der akustisch evozierten Potentiale. Vereinzelt konnten Alters- und Geschlechtsabhängigkeiten im Zusammenhang mit beobachteten Veränderungen unter Verumexposition gefunden werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die akustisch evozierten Potentialkomponenten, und hier insbesondere die P2 und die P3-Amplitudendifferenz, etwas stärker als die langsamen Potentiale von einer Hochfrequenzexposition betroffen waren. Die beobachteten Effekte traten an unterschiedlichen Lokalisationen auf und zeigten teilweise auch in entgegengesetzte Richtungen.

5.5 TEST ZUR ÜBERPRÜFUNG DER KOGNITIVEN LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Insgesamt betrachtet traten Expositionseffekte im paarweisen und varianzanalytischen Auswerteansatz bei den Verhaltensparametern zur kognitiven Leistungsfähigkeit ebenfalls nur sporadisch auf. Die in diesem Zusammenhang untersuchten Ergebnisparameter aus den psychophysiologischen Experimenten unterlagen in keiner der drei untersuchten Stichproben expositionsabhängigen Veränderungen und wiesen auch keine Expositionseffekte unabhängig von dem Geschlecht oder der Altersgruppe auf. Obwohl sowohl im paarweisen als auch im varianzanalytischen Auswerteansatz einige wenige Expositionseffekte im Zusammenhang mit den drei untersuchten Aufmerksamkeitskomponenten Vigilanz, selektive sowie geteilte Aufmerksamkeit festgestellt werden konnten, ließ sich keine Systematik in den Auswirkungen einer Hochfrequenzexposition auf diese behavioralen Zielparameter erkennen. Für das Arbeitsgedächtnis zeigten sich ebenfalls keine systematischen Expositionseffekte. Alters- und geschlechtsspezifische Expositionseffekte waren ebenfalls nur selten zu beobachten. Im Vergleich waren Geschlechtsabhängigkeiten im Zusammenhang mit Hochfrequenzauswirkungen allerdings etwas häufiger zu beobachten. Bei diesen geschlechtsspezifischen Effekten war die Leistung der älteren Frauen unter Hochfrequenzexposition tendenziell schlechter als unter der Sham-Exposition, während bei den älteren Männern genau gegenteilige Veränderungen zu beobachten waren.

Tabelle 1: Zusammenfassung aller Ergebnisse aus den gemischten ANOVA-Modellen, die sich im Zusammenhang mit dem Zwischensubjektfaktor „Geschlecht“ (oben) und „Altersgruppe“ (unten) ergeben haben. Zur besseren Lesbarkeit der Tabelle sind die Endpunkte, für die Effekte gefunden werden konnten, grau hervorgehoben. Die Zahlen entsprechen den statistisch signifikanten Ergebnissen in Beziehung zu den getesteten Zielparametern des jeweiligen Endpunkts. Der Übersichtlichkeit halber basieren die Angaben zu den EEG-Powerwerten auf einer Zusammenfassung von Ergebnissen und Zielparametern.

Variable	expositionsunabhängiger Geschlechtseffekt		geschlechtsunabhängiger Expositionseffekt		geschlechtsabhängiger Expositionseffekt	
	GSM	TETRA	GSM	TETRA	GSM	TETRA
Makrostruktur des Schlafes und Selbsteinschätzung zum Nachtschlaf						
Gesamte Nacht	15/30	12/30	4/30	2/30	2/30	4/30
Erstes Schlafviertel	5/15	5/15	0/15	2/15	0/15	0/15
Letztes Schlafviertel	8/15	8/15	0/15	0/15	0/15	0/15
Selbstbeurteilung	0/4	0/4	0/4	1/4	2/4	0/4
Schlaf-EEG Power über alle 5 Schlafstadien (Frequenzbänder für 19 Lokalisationen zusammengefasst)						
SO	5/5	5/5	0/5	1/5	0/5	1/5
Delta	5/5	5/5	0/5	1/5	0/5	2/5
Theta	4/5	4/5	0/5	0/5	0/5	0/5
Alpha	4/5	4/5	0/5	2/5	0/5	0/5
Spin_weit	5/5	5/5	1/5	2/5	0/5	0/5
Spin_eng	5/5	5/5	1/5	2/5	0/5	0/5
Beta	5/5	5/5	2/5	3/5	0/5	0/5
Ruhe-EEG Power (für 19 Lokalisationen zusammengefasst)						
Delta	1/1	1/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Theta	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Alpha1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Alpha2	0/1	1/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Beta1	1/1	1/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Beta2	1/1	1/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Langsame und akustisch evozierte Potentiale						
Amplitude	7/33	10/33	0/33	1/33	2/33	3/33
Latenz	3/6	3/6	0/6	0/6	0/6	0/6
Tests zur Überprüfung der kognitiven Leistungsfähigkeit						
Reaktionsverhalten	4/28	4/28	2/28	0/28	1/28	3/28
Antwortverhalten	0/9	0/9	0/9	0/9	0/9	1/9

Variable	expositionsunabhängiger Altersgruppeneffekt		altersgruppenunabhängiger Expositionseffekt		altersgruppenabhängiger Expositionseffekt	
	GSM	TETRA	GSM	TETRA	GSM	TETRA
Makrostruktur des Schlafes und Selbsteinschätzung zum Nachtschlaf						
Gesamte Nacht	24/30	21/30	0/30	1/30	0/30	2/30
Erstes Schlafviertel	15/15	11/15	0/15	0/15	0/15	0/15
Letztes Schlafviertel	13/15	13/15	0/15	2/15	0/15	1/15
Selbstbeurteilung	3/4	3/4	0/4	0/4	2/4	0/4
Schlaf-EEG Power über alle 5 Schlafstadien (Frequenzbänder für 19 Lokalisationen zusammengefasst)						
SO	5/5	5/5	0/5	0/5	1/5	0/5
Delta	5/5	5/5	0/5	0/5	1/5	0/5
Theta	5/5	4/5	0/5	1/5	0/5	0/5
Alpha	5/5	4/5	0/5	0/5	0/5	0/5
Spin_weit	5/5	4/5	0/5	3/5	0/5	0/5
Spin_eng	5/5	5/5	0/5	3/5	0/5	0/5
Beta	5/5	4/5	0/5	3/5	1/5	0/5
Ruhe-EEG Power (für 19 Lokalisationen zusammengefasst)						
Delta	1/1	1/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Theta	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Alpha1	1/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Alpha2	1/1	0/1	1/1	0/1	0/1	0/1
Beta1	1/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Beta2	1/1	1/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Langsame und akustisch evozierte Potentiale						
Amplitude	9/33	11/33	1/33	0/33	0/33	2/33
Latenz	4/6	3/6	1/6	1/6	1/6	0/6
Tests zur Überprüfung der kognitiven Leistungsfähigkeit						
Reaktionsverhalten	21/27	20/27	1/27	2/27	0/27	0/27
Antwortverhalten	7/8	7/8	0/8	1/8	0/8	1/8

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

In den hier beschriebenen Studien konnten eine Reihe von Hochfrequenzeffekten gemessen werden, die sich hinsichtlich Alter und Geschlecht unterschieden. Die deutlichsten HF-Effekte fanden sich bei der Schlafmakrostruktur und der zugehörigen subjektiven Einschätzung zum Nachtschlaf der älteren Frauen sowie bei der nächtlichen EEG-Power von älteren Männern. Das Ausmaß der Veränderung biologischer Parameter lag beispielsweise bei der nächtlichen Hirnaktivität unter den untersuchten Hochfrequenzexpositionen im Bereich physiologischer Schwankungen, wie sie auch zwischen unterschiedlichen Nächten ohne Befeldung bei ein und derselben Person auftreten können. Die bei älteren Frauen beobachteten Wirkungen der Exposition auf den Schlaf bedeuten überwiegend eine Verbesserung der Schlafqualität.

Bei einer der statistischen Auswertung zugrundeliegenden Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ist zu erwarten, dass aus rein zufällig ohne Zusammenhang zur Exposition variierenden Messwerten im Mittel 5 % der durchgeführten Vergleiche einen statistisch signifikanten Unterschied ergeben, der keine inhaltliche Bedeutung hat. In der vorliegenden Studie lag die Häufigkeit der signifikanten Expositionseffekte überwiegend in diesem Bereich. Ausschließlich bei der Power des EEG erreichte die Häufigkeit der alters- und geschlechtsunabhängiger Expositionseffekte 11 %. Die Häufigkeit der alters- und geschlechtsabhängiger Expositionseffekte lag für alle Untersuchungsebenen um 5 %. Die beobachteten Effektgrößen waren durchgehend klein.

Aus diesen Gründen können für die hier untersuchten unterschiedlichen Hochfrequenzexpositionen (innerhalb der derzeit gültigen Grenzwerte) über mehrere Stunden zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen abgeleitet werden. Die Grenzwerte bieten sowohl für junge Männer, als auch für ältere Personen beiderlei Geschlechts einen ausreichenden Schutz.

Thema

Sichtweisen der Bevölkerung auf den 5G-Mobilfunkstandard und dessen kommunikative Darstellung

Subject

Views of the population on the 5G mobile phone standard and its communicative presentation

Kennzeichen

3620S82471

Beginn

01.09.2020

Ende

31.11.2021

Fördermittel

EUR 150.654,-

Forschungs- / Auftragnehmer

GIM - Gesellschaft für Innovative Marktforschung GmbH

Projektleitung

Dr. T. Jerković,
A. Wachenfeld-Schell

Fachbetreuung BfS

L. Gernand / KEMF

verantwortlich für den Text

Dr. T. Jerković,
A. Wachenfeld-Schell

1. ZIELSETZUNG

Das Thema „Mobilfunk und Gesundheit“ erfährt seit geraumer Zeit wieder ein erhöhtes mediales und öffentliches Interesse. Dieses Interesse richtet sich vor allem auf die Einführung des neuen Mobilfunkstandards 5G (im Folgenden kurz „5G“). Ziel des vorliegenden Vorhabens war es, die Sichtweisen der Bevölkerung auf den Mobilfunk im Allgemeinen sowie auf 5G im Speziellen zu erfassen. Dazu wurde zum einen mit einem qualitativen Ansatz untersucht, wie die Bürger*innen verschiedene Aspekte des Mobilfunks und von 5G verstehen und interpretieren und zum anderen wurde eine für die deutsche Bevölkerung repräsentative Umfrage durchgeführt. Die Ergebnisse des Vorhabens liefern dem BfS Erkenntnisse über den Informationsbedarf auf Seiten der Bürger*innen, ihren Wissensstand und ihre Ansichten zum Thema 5G bzw. Mobilfunk und Gesundheit. Darüber hinaus wird die Entwicklung der Wahrnehmung des Mobilfunks insgesamt sowie der damit im Zusammenhang stehenden gesundheitlichen Aspekte im Zeitverlauf fortgeschrieben.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zur Erreichung der Zielsetzungen wurden drei Arbeitspakete in Auftrag gegeben, die jeweils individuelle, aber aufeinander aufbauende Zielsetzungen verfolgten.

2.1 QUALITATIVER TEIL: LITERATURRECHERCHE ZUR METHODIK (AP 1)

Ziel der Literaturrecherche war ein Erkenntnisgewinn für die Ausgestaltung der qualitativen Methodik im restlichen AP 1.

2.2 QUALITATIVE ERHEBUNG (AP 1) UND QUANTITATIVE UMFRAGE (AP 2)

Folgende Forschungsfragen galt es zu beantworten:

- Welcher Wissensstand besteht in der Bevölkerung hinsichtlich des Mobilfunks und elektromagnetischer Strahlung?
- Welcher Informationsbedarf besteht hierzu?
- Welche Ansichten zum Thema Mobilfunk und Gesundheit lassen sich identifizieren?
- Welches Schutz- und Vorsorgeverhalten ist intendiert und/oder wird angewendet?
- Welcher Wissensstand und welche Ansichten bestehen zum Thema 5G und Gesundheit?

Mit der Untersuchung sollten zum einen die wesentlichen Erkenntnisse der Vorgängerstudien in ihrer zeitlichen Entwicklung fortgeschrieben werden, um den Stellenwert von Mobilfunk gesellschaftlich

einordnen und Veränderungen über die Zeit feststellen zu können. Von besonderer Bedeutung hierfür war die Untersuchung aus dem Jahr 2013.

Zum anderen sollten der Wissensstand und die Meinung der Bevölkerung zu 5G erhoben werden. Der hierfür konzipierte Fragebogenteil wurde auf Basis der Ergebnisse der qualitativen Untersuchung entwickelt und stellt diese auf eine breitere Datenbasis.

Die Ergebnisse des Gesamtvorhabens sollen dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) Erkenntnisse zum Informationsbedarf, aktuellen Wissensstand sowie vorherrschenden Ansichten zum Thema 5G bzw. Mobilfunk und Gesundheit auf Seiten der Bürger*innen liefern.

3. METHODIK

Die Studie umfasste drei aufeinander aufbauende methodische Schritte: Initiale Literaturrecherche, nachfolgende qualitative Erhebung und abschließende quantitative repräsentative Bevölkerungsbefragung.

3.1 LITERATURRECHERCHE (AP 1)

In einem ersten Schritt wurde der aktuelle Stand der qualitativen Forschung zum Thema „Mobilfunk bzw. elektromagnetische Felder und Gesundheit“ zusammengetragen und eine Bewertung der verfügbaren Quellen hinsichtlich der angewendeten Methoden vorgenommen. Gegenstand dieser Recherche waren ausschließlich veröffentlichte Quellen. In der Recherche wurden neben deutschen auch internationale Studien berücksichtigt.

3.2 QUALITATIVE ERHEBUNG (AP 1)

Die qualitative Primärdatenerhebung wurde mit Hilfe der Slot-Methode durchgeführt. Das Slot-Modell besteht aus einer zweistufigen Datenerhebung von Einzelinterviews mit nachfolgender Minigruppen-diskussion. Zweck dieses Vorgehens ist es, Befragungsinhalte passgenau den methodischen Komponenten zuordnen zu können und sowohl die individuelle als auch kollektive Perspektive auf die interessierenden Themen zu ermitteln:

- Stufe 1 – Einzelinterviews

Zunächst wurden zeitgleich vier Einzelinterviews zu 75 Minuten durchgeführt. Über alle Interviews hinweg wurde eine heterogene Stichprobe ausgewählt, d. h. die Teilnehmer*innen unterschieden sich in wesentlichen Merkmalen (in dieser Studie v. a. kritische vs. unkritische Einstellung zu Mobilfunk). Innerhalb des Einzelinterviews wurde die individuelle, von anderen Teilnehmer*innen unbeeinflusste Meinung der Befragten eingeholt. Besonderer Schwerpunkt lag hier auf der Ermittlung von Erfahrungen, Wahrnehmungen, Emotionen, Risikobewusstsein zu den interessierenden Themen, v. a. generelle Lebensrisiken, Mobilfunk und 5G.

- Stufe 2 – Minigruppendifkussionen:

Im Anschluss an die Einzelinterviews wurden die Teilnehmer*innen zu einer gemeinsamen Minigruppendifkussion von 75 Minuten Dauer zusammengeführt. Die nun kollektiv durchgeführte Diskussion ermöglichte die Identifizierung von Unterschieden und Gemeinsamkeiten zwischen Einzel- und Gruppenmeinung, was insbesondere durch die heterogene Zusammensetzung der Stichprobe (bewusst) verstärkt wurde. Die durch Dynamik geprägte Gruppensituation wurde zur Ermittlung des kollektiven Diskurses sowie zur Diskussion von Thesen und Konzepten genutzt.

Insgesamt wurden 8 Slots an 4 Erhebungsorten durchgeführt:

- 4 Teilnehmer*innen pro Slot
- 2,5 h Dauer pro Slot
- 2 Slots pro Erhebungsort (Mannheim, München, Erfurt, Hamburg)
- pro Erhebungsort je 1 Slot mit Personen aus ländlichem, 1 Slot mit Personen aus städtischem Umfeld

- N = 40 (brutto) bzw. 32 (netto).

3.3 REPRÄSENTATIVE BEVÖLKERUNGSBEFRAGUNG (AP 2)

Die quantitative Untersuchung wurde als telefonische Erhebung (CATI) konzipiert und das Erhebungsinstrument entsprechend den Anforderungen einer CATI-Befragung entwickelt. Abweichend von der Leistungsbeschreibung, in der eine Befragung der deutschen Wohnbevölkerung ab 16 Jahren geplant war, wurde im Rahmen der Untersuchungskonzeption entschieden, die Grundgesamtheit der Erhebung auf die Bevölkerung ab 14 Jahren zu erweitern. Diese Entscheidung wurde vor dem Hintergrund der früheren Erhebungen, die jeweils eine Befragung ab 14 Jahren umfassten, getroffen. Das Ziel war, eine bestmögliche Vergleichbarkeit der Ergebnisse und Anschlussfähigkeit der vorliegenden Studie an die früheren Befragungen zu gewährleisten.

Es wurden insgesamt n=2 000 Personen der deutschsprachigen und in Privathaushalten lebenden Wohnbevölkerung befragt. Die Befragung dauerte ca. 22 Minuten. Die Stichprobenziehung erfolgte auf Basis der „ADM Auswahlgrundlage für Telefonstichproben“ (Festnetz und Mobilfunk). Mit Blick auf die Erreichbarkeit mobiler und junger Zielgruppen wurde ein Dual-Frame-Ansatz gewählt, der gemäß den Empfehlungen des ADM aus einem kombinierten Festnetz- und Mobilfunkstichprobenansatz besteht. Für die Zufallsauswahl im Haushalt kam das Last-Birthday-Verfahren zum Einsatz. Die Ergebnisse sind repräsentativ für die deutschsprachige Wohnbevölkerung ab 14 Jahren (Fehlertoleranz für n=2 000 bei einem 95 %-Konfidenzintervall liegt bei 0,6 - 3,1 Prozentpunkte, abhängig vom gemessenen Anteilswert).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 LITERATURRECHERCHE ZUR METHODIK (AP 1)

Die Darstellung der verfügbaren qualitativen Studien zum Thema und deren Bewertung erfolgte in einem Zwischenbericht im November 2020. Die in der Literaturrecherche gewonnenen Erkenntnisse wurden direkt nutzbar gemacht, indem die Kriterien für die Stichprobenziehung für die qualitative Erhebung bestätigt und darüber hinaus ergänzt werden konnten. Ferner haben die Ergebnisse der Literaturrecherche methodisch die Wahl des Slot-Modells bekräftigt.

4.2 QUALITATIVE ERHEBUNG (AP 1)

Die qualitative Erhebung wurde im November 2020 durchgeführt. Um den zum Zeitpunkt der Datenerhebung herrschenden amtlichen Bestimmungen hinsichtlich Kontaktbeschränkungen und auch forschungsethischen Prinzipien Genüge zu tun, wurde die Datenerhebung digital per Zoom durchgeführt.

Am 17.11.2020 erfolgte der Pre-Test. Danach wurden kleine Änderungen an den Themenleitfäden vorgenommen, bevor in der Zeit vom 23.-26.11.2020 die Datenerhebung stattfand. Am 30.11.2020 erfolgte das Debriefing aller beteiligten Interviewer*innen, bei dem auch die beiden Studienleiterinnen für die repräsentative Bevölkerungsbefragung von AP 2 sowie das BfS anwesend waren. Ein Zwischenbericht wurde im Februar 2021 bereitgestellt.

4.3 REPRÄSENTATIVE BEVÖLKERUNGSBEFRAGUNG (AP 2)

Um vor allem den neu entwickelten Fragebogenbereich zum Thema 5G auf seine Verständlichkeit zu überprüfen, wurde im Vorfeld der Haupterhebung ein Pretest durchgeführt. Hierfür wurden 30 Telefoninterviews in der Zeit vom 10.05.-14.05.2021 geführt. Um eine Verzerrung durch verschiedene Alltags- und Lebensroutinen der Befragten zu minimieren, wurden die Interviews in der Zeit zwischen 16:30-21:00 Uhr geführt, so dass auch die meisten Erwerbstätigen erreicht werden konnten. Die Erkenntnisse wurden im Pretest-Bericht dokumentiert und ein Vorschlag zur Straffung des Erhebungsinstruments mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Die Hauptbefragung wurde in der Zeit vom 07.06.-15.07.2021 durchgeführt. Insgesamt konnten hier 2 000 Interviews mit einer durchschnittlichen Befragungslänge von rund 22 Minuten realisiert werden.

Da es bei Primärerhebungen im Laufe des Erhebungsprozesses auf Grund von Interviewausfällen (Verweigerungen, Zielperson konnte im Erhebungszeitraum nicht erreicht werden etc.) zu leichten Schiefen

in der Abbildung soziodemographischer Verteilungen kommen kann, wurden die Daten nach der Feldphase einer Design- und Redressmentgewichtung unterzogen. Für Referenzdaten zur demografischen und soziostrukturellen Verteilung wurde der aktuelle Mikrozensus herangezogen. Ein Zwischenbericht zu diesem Arbeitspaket wurde im Dezember 2021 vorgelegt.

5. ERGEBNISSE

Die großen Entwicklungen der Zeitreihe zeigen eine deutliche Zunahme der Gerätevielfalt in unterschiedlichen Lebensbereichen. Smarte Geräte sind zum Alltagsbegleiter geworden. Die Besorgnis hinsichtlich elektromagnetischer Strahlung des Mobilfunks ist tendenziell zurückgegangen, gleichwohl wird Strahlung ein Gesundheitsrisiko zugesprochen. Aus dieser generellen Einschätzung entspringen gewisse Verhaltensmuster, die bei vielen Menschen in die Alltagsroutine eingegangen sind (z. B. nachts Flugmodus, kürzere Gespräche über das Handy/Smartphone etc.). Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass die Nutzung von Smartphones/Handys in ihrer Intensität zugenommen hat (durchschnittliche Minutenzahl von Telefonaten, Nutzung mobiles Internet).

Mit Blick auf 5G lässt sich feststellen, dass die große Mehrheit (83 % der Befragten) den Mobilfunkstandard 5G kennt. Allerdings fühlen sich nur wenige gut zum Thema 5G informiert. Rund 36 % der Bevölkerung halten weitere Informationen zu 5G für (sehr) wichtig - weitere Informationen zum Thema Gesundheit und Mobilfunk allgemein halten 30 % für (sehr) wichtig. Die über 5G verfügbaren Informationen werden von ebenso vielen Personen als zufriedenstellend bzw. nicht zufriedenstellend eingeordnet. Personen ab 65 Jahren bewerten die verfügbaren Informationen am schlechtesten. Hauptkritikpunkte sind, dass die Informationen nicht ausreichend (67 %), nicht in angemessener Weise aufbereitet (43 %) oder zu kompliziert seien (32 %). Hauptinformationsquellen, über die man sich weiter bezüglich 5G oder auch das Thema Mobilfunk und Gesundheit informieren würde, sind das Internet, gefolgt von Mobilfunkanbietern und Freunden/Familien/Kollegen. Hinsichtlich des Inhalts würden sich rund zwei Drittel der Personen, die weitere Informationen für (sehr) wichtig halten, wünschen, mehr über mögliche Vorsorgemaßnahmen zu erfahren.

Nicht zuletzt auf Grund des unterschiedlichen Informationsstandes verknüpft die Mehrheit mit 5G persönliche als auch gesellschaftliche Chancen und Risiken. Mobilfunkstrahlung wird potenziell als schädlich wahrgenommen, im Vergleich mit anderen Strahlungsquellen (z.B. Röntgen- oder Atomstrahlen) aber als weniger gefährlich eingestuft. Für die überwiegende Mehrheit derer, die 5G kennen, bedeutet 5G schnelleres Internet (83 %, Top2-Box) und wird von 72 % (Top2-Box) als wichtig für die wirtschaftliche Zukunft Deutschlands eingestuft sowie als Voraussetzung für neue digitale Entwicklungen (64 %, Top2-Box) bzw. die Digitalisierung überhaupt gesehen (60 %, Top2-Box). Allerdings besteht eine gewisse Verunsicherung in Bezug auf mögliche Gesundheitsrisiken: Etwa die Hälfte der Befragten stimmt der Aussage zu, dass es bei 5G zu wenig Langzeitstudien zu möglichen Gesundheitsbelastung gäbe. Daneben gehen 43 % (Top2-Box) davon aus, dass die Strahlenbelastung durch 5G zunimmt. 25 % (Top2-Box) befürchten, dass 5G mehr Gesundheitsrisiken birgt als die bisherigen Mobilfunkstandards. Ähnlich viele Personen machen sich bei 5G mehr Sorgen wegen der elektromagnetischen Strahlung als bei den bisherigen Mobilfunkstandards. Neben den Gesundheitssorgen werden auch Lücken im Datenschutz (12 %, Top2-Box) und eine Zunahme an Cyberkriminalität (34 %, Top2-Box) als Nachteile gesehen.

Qualitativ zeigte sich, dass sich Einstellungen und Umgang mit Mobilfunk in fünf Idealtypen widerspiegeln und diese sich hinsichtlich ihrer Einstellungen zu 5G, ihrer Mobilfunknutzung sowie allgemeineren Einstellungen wie Risikoaffinität und Vertrauen in Institutionen unterscheiden. Die den Idealtypen zu Grunde liegenden Haltungen finden sich auch in den quantitativen Analysen wieder. So wurde hier eine Segmentierung nach dem Informations- und Involvementniveau der Befragten zum Thema Mobilfunk und Gesundheit durchgeführt und die identifizierten Segmente in Bezug auf eben diese Grundhaltungen hin untersucht. Die Segmentierung schließt an das Vorgehen der letzten Messung (2013) an und stellt so die Betrachtung der Zeitreihe sicher. Hierfür wurden analog zum Verfahren 2013 vier Segmente mittels Clusteranalyse gebildet, die sich hinsichtlich Informiertheit und Wunsch nach Informationen zum Thema Mobilfunk und Gesundheit, Involvement, Besorgnis sowie Grad der empfundenen gesundheitlichen Beeinträchtigung unterscheiden. Die auf Basis der qualitativen Interviews identifizierten Grundhaltungen spiegeln sich weitestgehend in den quantitativ gefunden Segmenten wider und erlauben so sowohl eine großemäßige Einordnung dieser als auch in der Zusammenschau mit den Informa-

tionstypen, eine Ableitung möglicher Kommunikationsansätze (von einfacher Sprache über visuell unterstützte Kommunikation bis hin zur Verlinkung wissenschaftlicher Informationen).

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Studie stellen für die weiterführende Arbeit, insbesondere bei der Erfassung der Risikowahrnehmung der Bevölkerung und der darauf zugeschnittenen öffentlichen Wissenschafts- bzw. Risikokommunikation zum Mobilfunkausbau im Bereich HF-EMF, eine aktuelle Informationsquelle dar, die zur zielgerichteteren Verbesserung der entsprechenden Kommunikationsbemühungen genutzt werden wird. Die aus den Ergebnissen ableitbaren Umsetzungsempfehlungen betreffen einen quantitativen sowie qualitativen, ferner auf die Verbreitung im Internet allgemein und speziell in sozialen Netzwerken zugeschnittenen Informationsausbau zu 5G, vor allem im Zusammenhang mit möglichen gesundheitlichen Auswirkungen und infolgedessen einer behutsamen Weiterentwicklung möglicher Vorsorgeempfehlungen. Es besteht eine dezidierte öffentliche Nachfrage nach Information über künftige Ergebnisse von Langzeitstudien zur Mobilfunknutzung. Weitere Bedenken bzgl. des Datenschutzes und zu Cyberkriminalität müssen explizit adressiert werden. Neben diesen potentiellen Risiken fördert die Studie zu den Sichtweisen auf 5G in der Bevölkerung aber auch wahrgenommene Chancen im Hinblick auf die wirtschaftliche und digitale Zukunftsentwicklung Deutschlands zutage, was als Marker des öffentlichen Interesses gewertet werden kann und zukünftig mitbedacht wird. Darüber hinaus wird eine Zunahme der genutzten Mobilfunkgeräte wie auch ihrer Nutzungsintensität berichtet, die teilweise auch ein verändertes Vorsorgehandeln nach sich zieht und daher in geringem Maße auf eine parallele Zunahme des Alltagsbewusstseins der Mobilfunktechnologiematik hinweist, worauf bei zukünftigen Kommunikationsinhalten ebenfalls Bezug genommen oder dies zumindest berücksichtigt werden kann. Schließlich kann die im Zuge der qualitativen Teiluntersuchung der Studie elaborierte Typologie als Mobilfunk/5G-spezifische Ergänzung der BfS-Personals genutzt werden.

Thema			
Mobilfunkkonflikte aus der Vergangenheit als Lehrbeispiel für die Kommunikation über 5G			
Subject			
<i>Past conflicts surrounding 5G networks as a lesson for future communication strategies</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3620S82476	01.12.2020	30.11.2021	EUR 174.554,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Eberhard Karls Universität Tübingen / Forschungsbereich Geographie, Tübingen Universität des Saarlandes, Fachrichtung Gesellschaftswissenschaftliche Europaforschung, Saarbrücken			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Prof. Dr. Dr. O. Kühne Jun.-Prof. Dr. F. Weber	M. Kornek / KEMF	Dr. K. Berr, J. Dittel, Prof. Dr. Dr. O. Kühne, Jun.-Prof. Dr. F. Weber, M.-L. Zimmer	

1. ZIELSETZUNG

Im Hinblick auf Zukunftstechnologien wird der Auf- und Ausbau des 5G-Mobilfunknetzes zwingend erforderlich sein. Die Notwendigkeit eines entsprechenden Netzausbaus entbehrt allerdings eines gesamtgesellschaftlichen Konsenses: Mobilfunkgegner*innen organisieren und engagieren sich gegen den Ausbau und den Bau neuer Mobilfunkmasten. Unterschiedliche Positionen und Grundhaltungen treffen in diesem Zuge mehr oder weniger unversöhnlich aufeinander. Mobilfunkkonflikte rund um das zweite Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts lassen dabei an Auseinandersetzungen erinnern, die bei der Einführung des Mobilfunkstandards UMTS/3G in Deutschland geführt wurden - Parallelen und Gemeinsamkeiten entziehen sich bislang aber einer ausführlichen Analyse. Das Forschungsvorhaben „Mobilfunkkonflikte aus der Vergangenheit als Lehrbeispiel für die Kommunikation über 5G“ zielte vor diesem Hintergrund darauf ab, Konflikte um den Ausbau von 5G dahingehend zu untersuchen, ob sie entweder eine Wiederholung oder Weiterentwicklung früherer Diskussionen darstellen oder sich neue Argumente, neue Erkenntnisse, veränderte Akteure und neue Diskussionskulturen herausarbeiten lassen. Hierzu wurde eine diachrone Analyse von Mobilfunkkonflikten in einer Vergangenheit-Gegenwart-Kontrastierung vorgenommen. Zur Bearbeitung der Zielsetzung wurde von einer poststrukturalistisch-diskurstheoretischen Grundperspektive ausgegangen, die zum einen markante Verankerungen spezifischer Deutungsmuster, also besonders machtvolle Diskurse, in den Fokus rückt und zum anderen Veränderungen und Verschiebungen im Zeitverlauf sichtbar macht. So entstand die Grundlage für eine ausführliche Konfliktanalyse, die in Adaption von Überlegungen Ralf Dahrendorfs zur systematischen Ableitung von Handlungsempfehlungen für die künftige Konfliktbearbeitung und aktive Konfliktregulierung führte.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die zentrale Zielsetzung des Forschungsvorhabens zugunsten des Vergangenheits-Gegenwarts-Vergleichs und der Ableitung von Handlungsempfehlungen zur produktiven Konfliktbearbeitung von Mobilfunkkonflikten basierte auf der Bearbeitung mehrerer Einzelzielsetzungen, die sich gleichzeitig ineinanderfügten.

2.1 THEORETISCH-KONZEPTUELLE RAHMUNG: VERBINDUNG AUS DISKURS- UND KONFLIKTTHEORIE

Zur Systematisierung der Mobilfunkkonflikte und der Möglichkeit einer Ableitung von Handlungsempfehlungen wurde zunächst das Ziel einer Verbindung aus Diskurs- und Konflikttheorie verfolgt. Als theoretische Rahmung wurde eine poststrukturalistisch-diskurstheoretische Grundperspektive ausgewählt, die zum einen markante, temporäre Verankerungen spezifischer Deutungsmuster, also beson-

ders machtvollen Diskurse, in den Fokus rückt und zum anderen Veränderungen und Verschiebungen im Zeitverlauf sichtbar machen kann. Der diskurstheoretische Zugang nach Ernesto Laclau und Chantal Mouffe bietet dazu eine hilfreiche Einordnungsmöglichkeit, insofern er neben temporären Verankerungen auf die Brüchigkeit sowie die Veränderlichkeit „sozialer Wirklichkeiten“ abhebt. Diese theoretisch-konzeptionellen Überlegungen bedurften einer Erweiterung, um praxisbezogene Aussagen im Hinblick auf Konflikte zu ermöglichen. Zum Bindeglied zur Konflikttheorie nach Ralf Dahrendorf wurde das diskurstheoretische Konzept des „Agonismus“ in Anschluss an Chantal Mouffe, das Differenzen und Konflikte als gesellschaftsimmanent und sinnvoll betrachtet. Nach diesem Verständnis leben Demokratien davon, dass die Ubiquität von Macht und Konflikten anerkannt wird und diese nicht als „störend“ erachtet werden. Für Dahrendorf stellen Konflikte einen gesellschaftlichen „Normalfall“ dar, wodurch diese produktiv wirken können. Ausgehend von einer Systematisierung von Konflikten lassen sich so praxisbezogene Möglichkeiten zugunsten von Konfliktregelungen ableiten.

2.2 AUFBEREITUNG DES AKTUELLEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Zugunsten einer Rahmung der empirischen Erhebungen zielte das Vorhaben darauf ab, den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu erfassen und abzubilden. Zur Aufarbeitung sowie zur Identifizierung aktueller Forschungsschwerpunkte im Bereich Mobilfunk und 5G wurden insgesamt 160 Publikationen gesichtet und kategorisiert. Die Dokumente wurden auf Grundlage einer Schlagwortsuche zu den Begriffen Mobilfunk, 5G, 5G risk/health/fear und conspiracy in fünf verschiedenen Bereichen zusammengestellt: Dokumente des digitalen Online-Repositoriums und Informations-Systems (DORIS) des Bundesamtes für Strahlenschutz: 48 Dokumente, Veröffentlichungen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms (DMF): 53 Dokumente, Ergebnisse in Online-Suchmaschinen zur Recherche wissenschaftlicher Literatur, konkret Google Scholar und ScienceDirect: 24 Dokumente, Veröffentlichungen von Nicht-Regierungsorganisationen: 14 Dokumente sowie Publikationen von Regierungsorganisationen: 21 Dokumente.

2.3 MEDIENRESONANZANALYSE UND INTERVIEWS MIT ZENTRALEN STAKEHOLDER*INNEN

Zur Bearbeitung der Hauptzielsetzung des Vorhabens wurden durch das Forschungskonsortium umfangreiche empirische Erhebungen und Analysen durchgeführt. Ein Ziel bestand hier darin, über eine mediale Gegenüberstellung von Vergangenheit und Gegenwart zeitliche Veränderungen und Umbrüche sichtbar zu machen. Die Kontrastierung zweier Phasen erfolgte über die vordefinierten Untersuchungszeiträume 1998 bis 2002 und 2018 bis 2020. Diese bildeten den zeitlichen Rahmen des Ausbaus der Mobilfunkstandards UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) bzw. 5G. Im Hinblick auf eine Vertiefung von Aushandlungsprozessen im Jahr 2020 wurden ergänzend Interviews mit zentralen Stakeholder*innen geführt. Diese trugen entsprechend auf zentrale Weise dem Ziel Rechnung, verhärtete Konfliktpositionen herauszuarbeiten und gleichzeitig Ansätze für mögliche Konfliktregelungen zu diskutieren und zu bündeln.

2.4 ABLEITUNG VON HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Die dargestellten Einzelzielsetzungen dienten in der Gesamtbetrachtung dem Ziel der Ableitung von Handlungsempfehlungen zur künftigen Konfliktbearbeitung bei Mobilfunkaushandlungsprozessen. Auf Grundlage der Diskurs- und Konfliktanalysen wurden unter besonderer Berücksichtigung von Strategien der Wissenschaftskommunikation sowie der Risiko-Kommunikation Handlungsoptionen für eine weitergehende Kommunikation für das Bundesamt für Strahlenschutz abgeleitet. In einem separaten Werkzeugkasten wurden zudem Hinweise zur praktischen Umsetzung dieser Empfehlungen zur öffentlichen Kommunikation und Diskussion in Konfliktsituationen entwickelt.

3. METHODIK

Die empirische Grundlage bildete eine Medienresonanzanalyse, die einen Vergleich von Diskursen aus der Einführungsphase des UMTS-Mobilfunkstandards in Deutschland um die Jahrtausendwende und dem ab 2018 einsetzenden Ausbau des 5G-Netzes ermöglichte. Der untersuchte Medienkorpus setzt sich aus Artikeln überregionaler und regionaler (Tages-)Zeitungen und für den rezenten Zeitraum ergänzend aus Beiträgen in Fernsehen, Rundfunk und sozialen Netzwerken zusammen. Ergänzend wurden Interviews mit relevanten Stakeholder*innen geführt und ausgewertet, die zentrale Positionen

und Argumentationsmuster ausdifferenzieren und präzisieren. Auswertungsbezogen wurde auf diskurstheoretisch-anschlussfähige Verfahren gesetzt.

3.1 MEDIENANALYSEN

Gegenstand der Untersuchung waren zunächst drei nationale Zeitungen. Dabei handelt es sich zum einen um die nach der BILD auflagenstärksten überregionalen Zeitungen Süddeutsche Zeitung mit einer Auflage von rund 320 000 Exemplaren und die Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ) mit einer Auflage von rund 200 000 Exemplaren. Zum anderen wurde das mit einer Auflage von rund 660 000 Exemplaren auflagenstärkste Nachrichtenmagazin Deutschlands, Der Spiegel (SP), berücksichtigt. Daneben wurden vier regionale Tageszeitungen, die vergangene wie aktuelle Debatten um den Mobilfunkausbau aufgreifen, in die Untersuchung einbezogen: die Zeitungen Südkurier (Raum Konstanz), Nordwest-Zeitung (Raum Oldenburg), Rhein-Zeitung (Raum Koblenz) und Thüringer Allgemeine (Raum Erfurt). Auf diese Weise ergab sich auch eine recht ausgewogene geographische Verteilung der Untersuchungsgebiete, die eine Ausdifferenzierung möglicher regionaler Unterschiede ermöglichte. Ergänzend wurde auch die Berichterstattung in Radio und Fernsehen - aufgrund der öffentlichen Zugänglichkeit von Beiträgen nur für den Zeitraum von 2018 bis 2020 - berücksichtigt. Hier wurde zum einen der bundesweit empfangbare Deutschlandfunk ausgewählt. Dieser öffentlich-rechtliche Radiosender zeichnet sich durch eine hohe Nachrichten- und Informationsdichte aus. Zudem wurde die öffentlich-rechtliche Mediathek der ARD einbezogen. Darüber hinaus wurden zwei Wissenschaftsmagazine des öffentlich-rechtlichen Rundfunks in die Analyse einbezogen, die eigene Kanäle bei den sozialen Netzwerken Facebook, Instagram und Twitter pflegen. Es handelte sich um Quarks, das im Auftrag des WDR produziert wird, und nano, das Wissenschaftsmagazin des Senders 3sat. Die Seiten haben 520 000 bzw. 75 000 Abonnent*innen.

3.2 STAKEHOLDER*INNEN-INTERVIEWS

Einen weiteren Baustein stellten Interviews mit zentralen identifizierten Stakeholder*innen im Kontext von Mobilfunkkonflikten dar. Auf der Grundlage des Standes von Wissenschaft und Technik und einer ergänzenden Google-Recherche wurden Schlüsselpersonen zur Interviewführung ausgesucht, um einerseits aktuelle Informationen zu erhalten und andererseits Argumentationsmuster zu identifizieren, die beispielsweise in Publikationen und Medien nicht oder selten zum Tragen kommen. Es wurden elf leitfadengestützte Interviews geführt, zwei davon im Mailwechsel. Bei den Interviewten reicht das Spektrum von Befürworter*innen bis hin zu Kritiker*innen. Befragt wurden Vertreter*innen aus den Bereichen: Ministerien und öffentlichen Stellen, Politik, unabhängige Sachverständige, Industrie, Mobilfunkunternehmen, Nicht-Regierungsorganisationen, Bürgerinitiativen (national sowie lokal), Wissenschaft (konkret Medizin) sowie Medien.

3.3 METHODISCHES VORGEHEN

Um Diskurse um den Mobilfunkausbau in Vergangenheit und Gegenwart systematisiert herauszuarbeiten und sie näher zu bestimmen, bedurfte es einer methodischen Operationalisierung der theoretischen Grundlagen. Als quantifizierende Methode wurde ein lexikometrisches Verfahren ausgewählt: Hierbei handelt es sich um einen quantifizierenden Ansatz der Sprachwissenschaften, der auf (post-)strukturalistischen Grundlagen basiert. Daraus ergibt sich die Vereinbarkeit der Methode mit den diskurstheoretischen Annahmen von Laclau und Mouffe. Im Zuge von Frequenzanalysen konnten besonders häufig auftretende Themen identifiziert werden. Die Erweiterung um einen qualitativen Zugriff ermöglichte es, auftretende Regelmäßigkeiten bestimmten Positionen zuzuordnen. Das so genannte „kodierende Verfahren“ analysiert Narrationen, also Erzählungen, denen eine wirklichkeitskonstituierende Funktion zugeschrieben wird. Werden Narrationen regelmäßig wiederholt, fixiert sich ihre Bedeutung, so die Grundannahme. Auf diese Weise entstehen narrative Muster. Zentrale Muster wurden in den Medienanalysen und der Interviewauswertung herausgearbeitet.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Forschungsvorhaben wurde zwischen dem 1. Dezember 2020 und dem 30. November 2021 in vier Arbeitspaketen durchgeführt. Den Ausgangspunkt bildete die Aufbereitung und Systematisierung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik, was zum einen die Analyse der insgesamt 160 Pub-

likationen, wie oben angeführt, umfasste. Zum anderen erfolgte die Erarbeitung der theoretischen Grundlagen in der Verknüpfung aus Diskurs- und Konflikttheorie. Im zweiten Arbeitspaket konnten im Anschluss die Medienresonanzanalysen durchgeführt werden, wobei diese drei große nationale Zeitungen/Nachrichtenmagazine, vier Regionalzeitungen aus Gebieten mit 5G-Konflikten, Fernseh- und Radiosendungen sowie soziale Medien umfasste. Parallel dazu wurden die Interviews mit zentralen, identifizierten Stakeholder*innen geführt, transkribiert und ausgewertet. Das dritte Arbeitspaket diente dazu, die Gegenüberstellung von Vergangenheit und Gegenwart sowie die Einordnung in die konflikttheoretische Ausrichtung des Vorhabens vorzunehmen. Schließlich wurden zuletzt Handlungsempfehlungen gebündelt und strukturiert, die sich aus den zentralen Erhebungsergebnissen ableiteten.

5. ERGEBNISSE

5.1 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK: AUSWERTUNG DER 160 PUBLIKATIONEN

Im Zuge der Auswertung der Veröffentlichungen ist der Tenor zu konstatieren, dass von nachweisbaren Effekten elektromagnetischer Felder einzig bei Grenzwertüberschreitungen auszugehen ist. Ansonsten wird das Thema „Risiko“ in der heutigen modernen Gesellschaft zum zentralen Referenzpunkt. In Google Scholar und Science Direct lässt sich teilweise eine unklare Referenzgrundlage beobachten, was die Gefahr von „Meinungsmache“ und schwindendem Vertrauen mit sich bringen kann. Innerhalb der Veröffentlichungen von Nicht-Regierungsorganisationen und Regierungsorganisationen zum Mobilfunknetzausbau findet sich nur ein sehr begrenzter Gesundheitsfokus. Es dominieren wirtschaftlich-technische Betrachtungen. Divergierende diskursive Aushandlungsprozesse sind so zu konstatieren.

5.2 MEDIENDISKURS

Die Mediendiskursanalyse konnte aufzeigen, dass zentrale Argumentationsmuster im Zeitverlauf fortgeführt wurden, dass jedoch auch markante diskursive Verschiebungen zu beobachten sind. Im frühen Untersuchungszeitraum von 1998 bis 2002 wurde der weitere Auf- und Ausbau des Mobilfunknetzes mit dem Ziel begründet, Funklöcher zu schließen und den 3G-Standard zu erreichen. Auf nationaler Ebene standen gerade wirtschaftliche, unternehmerische und politische Aspekte des Ausbaus im Fokus. Gleichzeitig wurden erste emotional geführte Diskussionen um potenzielle gesundheitliche Risiken virulent. Dabei wurde der Aspekt „möglicher“ - also nicht ausschließbarer - Risiken (re-)produziert, sodass hier die „Möglichkeit“ einer Gefährdung - diskurstheoretisch gesprochen - zum zentralen Knotenpunkt der Aushandlungsprozesse wurde. Die zunehmende Zahl von Sendeanlagen als physische Manifestationen des Ausbaus ließ den Ausbau vermehrt ins Bewusstsein der Bevölkerung rücken, womit vermehrt Ängste und Sorgen von Bürger*innen einhergingen. Eine Emotionalisierung vollzog sich - eine Entwicklung, die in besonderem Maße innerhalb der Berichterstattung der regionalen Zeitungen nachgezeichnet wurde. Ausgehend vom konkreten Konfliktgegenstand neu installierter Masten und Antennen zeigten sich Proteste hier besonders präsent und mehr ablehnende Positionen kamen zu Wort, was als eine Verhärtung der Fronten interpretiert werden kann. Befürwortende und ablehnende Sprecher*innen standen sich - die eigene Position durch „passende“ wissenschaftliche Einschätzungen untermauernd - antagonistisch gegenüber. Der rezente Untersuchungszeitraum von 2018 bis 2020 kennzeichnet sich im Vergleich dazu durch eine veränderte Ausgangslage, denn die Mobilfunknutzung ist in diesem zeitlichen Kontext gesellschaftlich hegemonial verankert. Gegen ein Schließen von Funklöchern findet sich letztlich kein Widerstand. Kontrovers wird gleichzeitig diskutiert, ob und für wen der neue 5G-Standard wirklich nötig sei. Genau hier entzündeten sich entsprechend Konflikte. Sowohl auf nationaler als auch regionaler Ebene werden Erwartungen an 5G und Sorgen um gesundheitliche Auswirkungen (re)produziert, wobei häufig beide Seiten in polyphonen Aussagen in Beziehung zueinander stehen. Südkurier und Rhein-Zeitung adressieren gesundheitliche Aspekte in einem stärkeren Umfang, tendenziell mit einer eher negativen Risikobewertung. Zur vorherigen Dichotomisierung von klarer Befürwortung und Gegnerschaft tritt seit 2018 eine ambivalente Mittelposition dazu, die einen „verantwortungsvollen“ Ausbau einfordert. In der ARD-Mediathek und dem Deutschlandfunk dominieren eher befürwortende, gerade wirtschaftlich und technisch argumentierende Beiträge. Gleichzeitig erfolgt ein Abwägen wirtschaftlicher Erkenntnisse zu Gesundheitsauswirkungen. Drastische und hoch emotionale Positionierungen konnten in den Facebook-Posts bei Quarks und nano herausgearbeitet werden. In der Gesamtschau ist von 2018 bis 2020 eine tendenziell weniger negative Risikobewertung als von 1998 bis 2002 zu konstatieren, wobei sich gleichzeitig eine Verhärtung gegenläufiger Positionen zeigt.

5.3 STAKEHOLDER*INNENINTERVIEWS

Das herausgestellte Ergebnis der Medienanalysen ließ sich durch die Interviewauswertung stützen: Stark divergierende Positionen zu möglichen Gesundheitsrisiken treffen hier je nach Sprecher*innenposition aufeinander, wobei sich insbesondere die Einschätzungen von Mobilfunkunternehmen und die von Bürgerinitiativen diametral gegenüberstehen. Weitere Stakeholder*innen nehmen eine gewisse Mittlerposition ein. Masten und Antennen werden auch hier zum konkreten Aufhänger für Kritik - negativ als NIMBY (Not in my backyard) gerahmt. Auf Seiten von Kritiker*innen sind Sorgen und Ängste hegemonial verankert, wohingegen bei Befürworter*innen keine Gesundheitsauswirkungen wahrgenommen bzw. die Vorzüge der Technologie betont werden. Rationalitäten und Irrationalitäten treffen aufeinander, wobei die entsprechende Bewertung derselben sprecher*innenbezogen rückgebunden ausfällt. Unterschiedliche Positionen befinden sich damit in Aushandlung und ringen um weiterreichende Hegemonie. Bei aller Kritik dominiert insgesamt eher ein auf Chancen fokussierter Diskurs.

5.4 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Brechen konkrete Konflikte aus, in denen Gesundheitsaspekte häufig eine hegemoniale Position einnehmen, finden immer wieder eine Verhärtung gegensätzlicher Einschätzungen und eine Dichotomisierung statt, die eine Konfliktregelung erschweren. Vor dem Hintergrund teilweise schwer überschaubarer Gemengelagen und komplexer Konfliktreichweiten aus Interdependenzen unterschiedlicher Ebenen nehmen Konfliktintensitäten zu. Regelungsbezogen erscheint es in Anschluss an die theoretisch-konzeptionellen Überlegungen als entscheidend, dass Positionen der Konfliktkontrahent*innen als legitimiert anerkannt werden. Zudem ist an spezifischen Konfliktfällen anzusetzen und nicht am allgemeinen Ausbau von 5G. Ein Zusammenschluss sedimentierter institutionalisierter Gruppen vereinfacht dabei eine mögliche Konfliktregelung.

Handlungsbezogen wurde auf Überlegungen der Risiko- und Wissenschaftskommunikation zurückgegriffen. Potenzielle Konfliktauslöser wurden adressiert und Umgangsformen mit Risiken und Nichtwissen abgeleitet. Voraussetzungen für eine gelingende Kommunikation sind durch das Bundesamt für Strahlenschutz zu schaffen. Daran anknüpfend wurde auf Optionen abgehoben, wie die Informationsvermittlung eine Forcierung erfahren kann. Eine große Herausforderung besteht im Umgang mit extremen und verhärteten Positionen, sodass hierfür zugunsten der Risiko-Governance ergänzende Ansatzpunkte herausgestellt wurden, um Regelungsoptionen bei Mobilfunkkonflikten ableiten zu können.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Analyse, Auswertung und insbesondere die Handlungsempfehlungen dienen dem BfS als Grundlage zur Entwicklung von Informations- und Kommunikationskonzepten und Strategien. Die Ausarbeitung von Charakteristika der Konfliktphasen und -reichweiten, Eigenlogiken, Emotionalisierungen von Gesundheitsaspekten, Verhaltensmuster und Machtniveaus sind unabdingbare Hintergrundinformationen, um in der Praxis mit Konfliktsituationen umzugehen. Die Berücksichtigung von Gefahren und Chancen ist ebenso wichtig, wie beispielsweise die Auswahl geeigneter Bürger*innenbeteiligungsverfahren, um Konflikteskalationen zu vermeiden.

Zur Vorbereitung und Bewältigung verschiedener Kommunikationssituationen sind die Aspekte der sachbezogenen Kommunikation auf Augenhöhe zu beachten. Das Erkennen und Verstehen von Argumentationsmustern in der strahlenschutzbezogenen Kommunikation sowie die diskursive Verschiebung von Positionen bilden die Grundlage zielgruppengerechter, gelungener Kommunikation.

Thema			
Nutzung von Mobiltelefonen und Verlauf der Gliom-Inzidenz seit 1979			
Subject			
<i>The use of mobile phones and the development of glioma incidence since 1979</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
FM 8867	01.08.2018	31.12.2019 (Verzug)	EUR 138.820,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, Frankreich			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. J. Schütz	Dr. F. Heinzl, Dr. K. Fuks / WR 3	Dr. J. Schüz, Dr. I. Deltour	

1. ZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben untersucht den Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Hirntumorrisiko, indem es überprüft, ob angenommene Risiken durch hochfrequente (radiofrequente) elektromagnetische Felder (RF-EMF) bei tatsächlich beobachteten Gliom-Inzidenzen in Nordeuropa plausibel sind. RF-EMF wurden 2011 durch die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC/WHO) 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 epidemiologischer Studien. Dies war zum einen die Interphone-Studie, eine 2010 publizierte internationale Fall-Kontroll-Studie zum Hirntumorrisiko in Bezug auf die Mobiltelefonnutzung. Die Studie fand ein leicht erhöhtes Hirntumorrisiko in der höchsten Nutzungskategorie (den ca. 5 % häufigsten Mobiltelefonnutzern). Des Weiteren wurden in einer Reihe schwedischer Fall-Kontroll-Studien bei ähnlicher Fragestellung stark erhöhte Risikoschätzer gefunden. In zwei weitaus größeren Kohortenstudien, der britischen „UK Million Women Study“ und einer dänischen Studie zu diesem Thema, konnten diese beobachteten Risiken nicht bestätigt werden. Alle gelisteten Studien weisen allerdings methodische Schwächen auf. Seit Projektbeginn im August 2018 wurden keine weiteren in diesem Kontext relevanten epidemiologischen Studien veröffentlicht. Zuletzt fanden zwei jüngst veröffentlichte Langzeitexpositionsstudien an Ratten in der jeweils höchsten Expositions-kategorie vermehrt Schwannome am Herzen. Die Ergebnisse der Studien waren jedoch inkonsistent über unterschiedliche Expositionsbedingungen hinweg und aufgrund der hohen Exposition ist es schwer die Daten auf vergleichbare Situationen beim Menschen zu übertragen.

Ein tatsächlicher schädigender Effekt von Mobiltelefonnutzung, der zu einem Anstieg des Hirntumorrisikos führen würde, sollte gleichermaßen aufgrund 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 im Journal „Epidemiology“ 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 aufgrund der flächendeckenden Verbreitung von Mobiltelefonen machte eine Neuevaluation der Hirntumorinzidenzraten dringend erforderlich. Dem statistischen Ansatz von Deltour et al. folgend sollten 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 Änderungen in den zeitlichen Trends. Bei dem untersuchten Hirntumortyp handelt es sich um das sogenannte „Gliom“. Gliome sind die häufigsten primären Hirntumore (30 % aller Hirntumore und 80 % aller bösartigen Hirntumore), die ihren Ursprung im Stützgewebe (Gliazellen) des Gehirns haben; vorwiegend den Astrozyten,

weshalb die meisten Gliome Astrozytome sind. Der häufigste Untertyp ist das Astrozytom Grad IV, auch Glioblastom genannt, das eine sehr ungünstige Prognose hat. Gliome können in verschiedenen Hirnarealen auftreten, unter anderem auch seitlich, also temporal und parietal, und somit in den Arealen, in denen die meiste von den Mobiltelefonen emittierte Energie im Gewebe absorbiert wird.

In Simulationsstudien werden verschiedene in epidemiologischen Studien beobachtete Risikoschätzer auf ihre Plausibilität überprüft. Hierfür werden die Fallzahlen, die sich bei bestimmten angenommenen Risiken theoretisch ergeben würden, mit den tatsächlich beobachteten Fallzahlen verglichen. Für unterschiedliche Altersgruppen sollten sich dabei dieselben Risiken als plausibel erweisen, da allgemein von einem altersunabhängigen Risiko ausgegangen wird. Ist dies nicht der Fall, wären die Ergebnisse in sich nicht konsistent. Die Einzelzielsetzung ist somit die Überprüfung der Plausibilität von in den epidemiologischen Studien gefundenen Risikoschätzern ohne irgendwelche Annahmen zur Qualität dieser Studien treffen zu müssen, d. h. eine komplett objektive Prüfung.

3. METHODIK

3.1 DATENBASIS

Die Gliom-Inzidenzraten für den Zeitraum von 1979 bis zur maximal aktuellen Verfügbarkeit zum Zeitpunkt der Datenbereitstellung der Krebsregister wurden aus den nationalen, bevölkerungsbezogenen Krebsregistern der Länder Dänemark, Finnland, Norwegen und Schweden extrahiert. Relevante demographische Daten zur Bevölkerungsgröße unterteilt nach Altersgruppen in ihrer zeitlichen Entwicklung seit 1979 wurden von den nationalen Bevölkerungsregistern zur Verfügung gestellt.

Trends in der Bevölkerungsexposition, was Änderungen im typischen Nutzungsverhalten von Mobiltelefonen angeht, wurden aus einer Kombination von Datenquellen geschätzt. Dazu gehört die u. a. in den vier nordischen Ländern durchgeführte Interphone-Fall-Kontroll-Studie, da deren Kontrollpersonen einer bevölkerungsbasierten Schätzung der Exposition am nächsten kommen. Die Expositionsprävalenz, d. h. der Anteil von Mobiltelefonnutzer*innen in der Bevölkerung, kann hier für jedes Jahr von 1979 bis 2002 (Ende der Interphone-Studie) für alle 40- bis 59-Jährigen (Altersgruppe für Interphone, die mit der Altersgruppe dieser Studie überlappt) ermittelt werden; für den späteren Zeitraum musste dies extrapoliert werden. Diese Informationen wurden ergänzt durch die COSMOS-Studie. COSMOS ist eine prospektive Kohortenstudie von Mobiltelefonnutzer*innen in Dänemark, Finnland, Frankreich, Großbritannien, Niederlande und Schweden (mit IARC-Beteiligung), welche zur Expositionserfassung die offiziellen Nutzungsdaten der Netzbetreiber nutzt und damit ein objektives Maß der tatsächlichen Nutzung liefert. Da COSMOS ein kontrastoptimiertes Design hat (d. h. überproportionales Sampling von Personen mit sehr geringer als auch sehr häufiger Mobiltelefonnutzung), können keine Expositionsprävalenzen geschätzt werden, aber die zeitlichen Nutzungstrends innerhalb von Nutzungsgruppen können als repräsentativ angesehen werden und wurden zu einer Adjustierung der extrapolierten Interphone-Daten herangezogen. Hierbei wurden die COSMOS-Daten aus Dänemark benutzt als ein Land mit sehr früher und im internationalen Vergleich häufiger Mobiltelefon-Nutzung, als auch Frankreich als Vertreter von Ländern mit eher verzögerter Ausweitung der Nutzung.

3.2 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Schritt 1 ist die Berechnung der altersstandardisierten Inzidenzraten für jedes Kalenderjahr inklusive der Analyse der zeitlichen Trends und Ermittlung möglicher Änderungspunkte (d.h. Zeitpunkte, an welchen sich der Trend in den Inzidenzraten in Bezug auf die vorherigen Jahre signifikant verändert). Die Berechnung der Inzidenzraten wurde für sowohl Männer als auch Frauen im Alter zwischen 20 und 84 Jahren durchgeführt. Dabei wurde auch nach Altersklassen und Gliom-Art unterschieden, unterteilt in hochgradige und niedriggradige Gliome, sowie für den häufigsten Subtyp, dem Glioblastom.

In einem zweiten Schritt wurde für viele verschiedene Mobiltelefonnutzungsszenarien die relativen Gliom-Risiken durch Mobiltelefonnutzung geschätzt, d. h. das Gliom-Risiko bei einer bestimmten Mobilfunknutzung im Verhältnis zu dem Gliom-Risiko bei keiner Mobilfunknutzung. Dabei wurden zwei Personengruppen betrachtet: einmal die Männer im Alter von 40 bis 59 Jahren und einmal die Männer im Alter von 60 bis 69 Jahren. Für jede der beiden Gruppen wurde ein Modell für die Anzahl der Gliom-Neuerkrankungsfälle (Gesamtzahl der vier Länder Dänemark, Finnland, Norwegen und Schweden)

angepasst und die Hintergrundrate sowie das relative Risiko unter Annahme eines bestimmten Mobiltelefonnutzungsszenarios geschätzt. Bei diesem Modell wurde eine konstante Hintergrundrate angenommen. Das bedeutet, dass ein ggf. vorliegender Anstieg der Neuerkrankungsfälle vollständig durch ein erhöhtes Gliom-Risiko durch Mobiltelefonnutzung begründet sein muss.

Auf Basis desselben Modells wurden im dritten Schritt die jährlichen Gliom-Neuerkrankungsfälle für verschiedene Risiko- und Mobiltelefonnutzungsszenarien für Männer im Alter von 40 bis 59 Jahren simuliert. Hierbei wurden u. a. erhöhte Risikoschätzer aus der Literatur angenommen. Für jedes der Szenarien wurde die Power berechnet, d. h. die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Gliom-Inzidenz und Mobiltelefonnutzung entdeckt wird, gegeben das wirklich eine vorliegt.

Im vierten Schritt führten die Forschungsnehmer eine weitere Simulationsstudie durch. Hier wurde ein Modell angenommen, bei dem die Hälfte bzw. dreiviertel aller Gliom-Neuerkrankungsfälle auf andere Faktoren als einem erhöhten Risiko durch Mobiltelefonnutzung zurückgeführt werden. Zu diesen anderen Faktoren zählen z. B. bessere Diagnosemöglichkeiten. Die sich für verschiedene Risiko- und Mobiltelefonnutzungsszenarien unter diesem Modell erwarteten Gliom-Neuerkrankungsfälle wurden mit den tatsächlichen anhand von standardisierten Inzidenzverhältnissen (SIR) verglichen.

4. DURCHFÜHRUNG

Gemäß des für Deltour et al. in 2012 verwendeten Studienprotokolls wurde für die Modellschätzungen und die Simulationsstudien diejenige Bevölkerungsgruppe gewählt, für die - sollte Mobiltelefonnutzung tatsächlich ein Risiko für Gliome darstellen - der Effekt am ehesten und am stärksten zum Ausdruck käme, weil diese Gruppe am frühesten und damals häufigsten Mobiltelefone nutzte. Dies sind Männer im Alter von 40 bis 59 Jahren. Als Ergänzung zum 2012-Protokoll wurde die Altersgruppe um die 60 bis 69-Jährigen erweitert, weil viele aus den 2012 40- bis 59-Jährigen inzwischen dieser Altersgruppe angehörten.

Nachdem im ersten Arbeitspaket die erforderlichen Genehmigungen für den Datenzugriff eingeholt wurden, wurde im zweiten Arbeitspaket 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 konnten. Das Arbeitspaket 2 konnte daher erst ein Jahr später wie geplant abgeschlossen werden. Mit den Daten aus dem Vorgängerprojekt lagen damit Inzidenzdaten für den Zeitraum 1979 bis 2016 vor. Die Simulationsstudien wurden Ende Oktober 2020 abgeschlossen. Das Projekt wurde im Februar 2022 abgeschlossen.

Die Projektpartner*innen sind: Frankreich - Dr. Joachim Schüz und Dr. Isabelle Deltour, Internationale Krebsagentur der Weltgesundheitsorganisation (IARC/WHO), Lyon; Projektleitung; Finnland - Professor Anssi Auvinen, Universität in Tampere; Schweden - Professor Maria Feychting, Institut für Umweltmedizin, Karolinska Institut, Stockholm; Dänemark - Professor Christoffer Johansen und Dr. Aslak Harbo Poulsen, Forschungszentrum der Dänischen Krebsgesellschaft, Kopenhagen; Norwegen - Dr. Tom Børge Johannesen, Norwegisches Krebsregister, Oslo.

5. ERGEBNISSE

Die Studie umfasste insgesamt 28 015 Männer und 20 630 Frauen im Alter von 20 bis 84 Jahren, die in Dänemark, Finnland, Norwegen und Schweden zwischen 1979 und 2016 als an einem Gliom erkrankt diagnostiziert wurden. Für das Jahr 2016 entsprach dies 1 724 neue Patient*innen in einer Gesamtbevölkerung von 19,7 Millionen, was altersadjustierten Inzidenzraten von 9,1 pro 100 000 bei Männern und 6,1 pro 100 000 bei Frauen entspricht. Schweden trägt etwa 38 % zu den aufgetretenen Fällen und der Gesamtbevölkerung bei, der restliche Anteil fällt in etwa gleichermaßen auf die anderen drei Länder.

5.1 ZEITLICHER VERLAUF DER INZIDENZRATEN

Tabelle 1 zeigt die durchschnittlichen Inzidenzraten von 2007 bis 2016 für die vier nordischen Länder zusammengefasst, getrennt nach Männern und Frauen und für alle Gliome zusammen sowie für Glio-

blastome, andere hochgradige als auch niedriggradige Gliome. Dies entspricht dem Zeitraum 10 oder mehr Jahre nach dem starken Anstieg in der Anzahl der Mobiltelefonnutzer*innen Mitte bis Ende der 1990er Jahre. Die Inzidenzraten für Männer sind fast 50 % höher als für Frauen. Beim Vergleich der vier Länder zeigt sich unter Männern die höchste Inzidenzrate in Norwegen (10,3), gefolgt von Dänemark (9,7), Schweden (8,8) und Finnland (8,0). Bei Frauen ist die höchste Inzidenzrate ebenfalls in Norwegen (6,8), erneut gefolgt von Dänemark (6,5), Schweden (5,9) und Finnland (5,6) - alle Inzidenzraten in pro 100 000 Einwohnern.

Betrachtet man den gesamten Zeitraum von 1979 bis 2016 zeigt sich bei allen Gliomen und nordischen Ländern zusammengefasst unter Männern ein jährlicher Anstieg von 0,6 % (95 % Konfidenzintervall 0,4 %-0,7 %). Der Vergleichswert bei Frauen liegt bei 0,3 % (0,2 %-0,5 %). Dies bedeutet, dass seit 1979 Gliom-Inzidenzraten insgesamt statistisch signifikant steigen. Wichtig ist vor allem der Anstieg betrachtet über die Altersgruppen. Bei den 20- bis 39-Jährigen war der Anstieg sowohl bei Männern als auch Frauen gering und nicht statistisch signifikant: Männer 0,2 % (-0,1 %-0,5 %) und Frauen 0,2 % (-0,1 %-0,5 %). Bei den 40- bis 59-Jährigen fiel der Anstieg ebenfalls sehr gering aus bzw. war schwach rückläufig bei Frauen: Männer 0,1 % (0 %-0,3 %) und Frauen -0,2 % (-0,3 %-0 %). Zu einem signifikanten Anstieg kam es unter den 60- bis 69-Jährigen: Männer 0,6 % (0,4 %-0,9 %) und Frauen 0,4 % (0,2 %-0,7 %). Unter den 70- bis 84-Jährigen änderte sich der Verlauf über die Zeit. Bei den Männern kam es zwischen 1979 und 1984 zu einem hohen Anstieg von 7,3 % (-0,4 %-15,6 %), dann einem Rückgang (also negativen Anstieg) von jährlich -4,5 % (-11,0 %-1,9 %) von 1984 bis 1990 und wieder einem Anstieg von 1990 bis 2016 von 3,1 % (2,6 %-3,5 %). Bei den Frauen fiel der Anstieg zwischen 1979 und 1994 schwach aus, 0,2 % (-1,0 %-1,3 %), und war zwischen 1994 und 2016 statistisch signifikant, 2,8 % (2,3 %-3,3 %). Abbildung 1 fasst die Situation graphisch zusammen. Diagnostische Untergruppen sind im Ergebnisbericht dargestellt.

Tabelle 1: Durchschnittliche Gliom-Inzidenzraten 2007-2016 in den nordischen Ländern

	Männer			Frauen		
	Anzahl Fälle(N)	Inzidenz-Rate ^{a*} (IR)	Niedrigste - Höchste IR*	Anzahl Fälle (N)	Inzidenz-Rate*(IR)	Niedrigste - Höchste IR*
Gliome, alle	1033	9,1	(8,4 – 9,6)	691	6,1	(5,9 – 6,3)
Glioblastome	689	5,7	(5,0 – 6,0)	455	3,5	(3,1 – 3,8)
Gliome, hochgradig	167	1,7	(1,6 – 2,1)	124	1,3	(1,1 – 1,6)
Gliome, niedriggradig	166	1,6	(1,4 – 1,8)	107	1,3	(1,1 – 1,5)

^{a*} pro 100 000

Bezüglich der Nutzungsdaten von Mobiltelefonen in den nordischen Ländern zeigt die sogenannte Interphone-Studie folgenden Verlauf: Was die reguläre Nutzung, d. h. mindestens einmal pro Woche über einen Zeitraum von mindestens sechs Monaten, angeht, dauerte es in der Altersklasse der stärksten Mobiltelefonnutzer, d. h. den 40- bis 59-Jährigen, bis 1991/1992 bis eine Prävalenz von 10 % erreicht wurde. Dann stieg die Prävalenz rapide an, um nicht einmal zehn Jahre später 80 % zu erreichen. Der etwas abgeschwächte Anstieg auf bis praktisch 100 % erfolgte bis 2005/2006. Bei den 60- bis 69-Jährigen gab es kaum eine Nutzung bis 1992, dann stieg die Prävalenz steil an um bis 1999 50 % und bis 2012 100 % zu erreichen. Insgesamt geschah der Anstieg aber um einige Jahre zeitlich verzögert im Vergleich zu den jüngeren Nutzer*innen. Bei Frauen zeigte sich der Prävalenzanstieg mit etwa 5 bis 6 Jahren Verzögerung bei den 40-bis 59-Jährigen. Deshalb ist der Vergleich, ob der Anstieg unter Gliomen kompatibel mit der Verbreitung von Mobiltelefonen ist, besonders für 40- bis 59-jährige Männer angemessen. Hier kann die längste Latenzzeit zwischen Exposition und Tumor modelliert werden.

Ein grober Vergleich mit den Gliom-Inzidenzraten zeigt keinen zeitlichen Verlauf bei den 20- bis 59-Jährigen, der die Hypothese eines Mobilfunk-assoziierten Anstiegs unterstützen würde. Dies trifft auch auf die 60- bis 69-Jährigen zu, die einen zeitlich gleichmäßigen Anstieg zeigen, der bereits vor der Einführung des Mobilfunks zu beobachten ist und sich nicht als Folge des exponentiellen Mobilfunknutzeranstiegs verstärkt. Die Gruppe der 70- bis 84-Jährigen hat die niedrigste Prävalenz und ebenfalls einen

zeitlichen Verlauf, der die Hypothese eines Zusammenhangs nicht stützt. Der unterschiedliche Verlauf der Inzidenzraten bei den 40- bis 59-Jährigen im Vergleich zu den 60- bis 69-Jährigen spricht ebenfalls gegen eine Assoziation mit Mobilfunk, weil Studien keine Evidenz für altersspezifisch unterschiedliche Risiken beobachtet haben und wenn, dann ein möglich erhöhtes Risiko für Heranwachsende. Auch gegen eine Assoziation mit Mobilfunk spricht der ähnliche Verlauf für Männer und Frauen, weil die Mobilfunknutzung in den ersten 15 bis 20 Jahren bei Männern deutlich häufiger war.

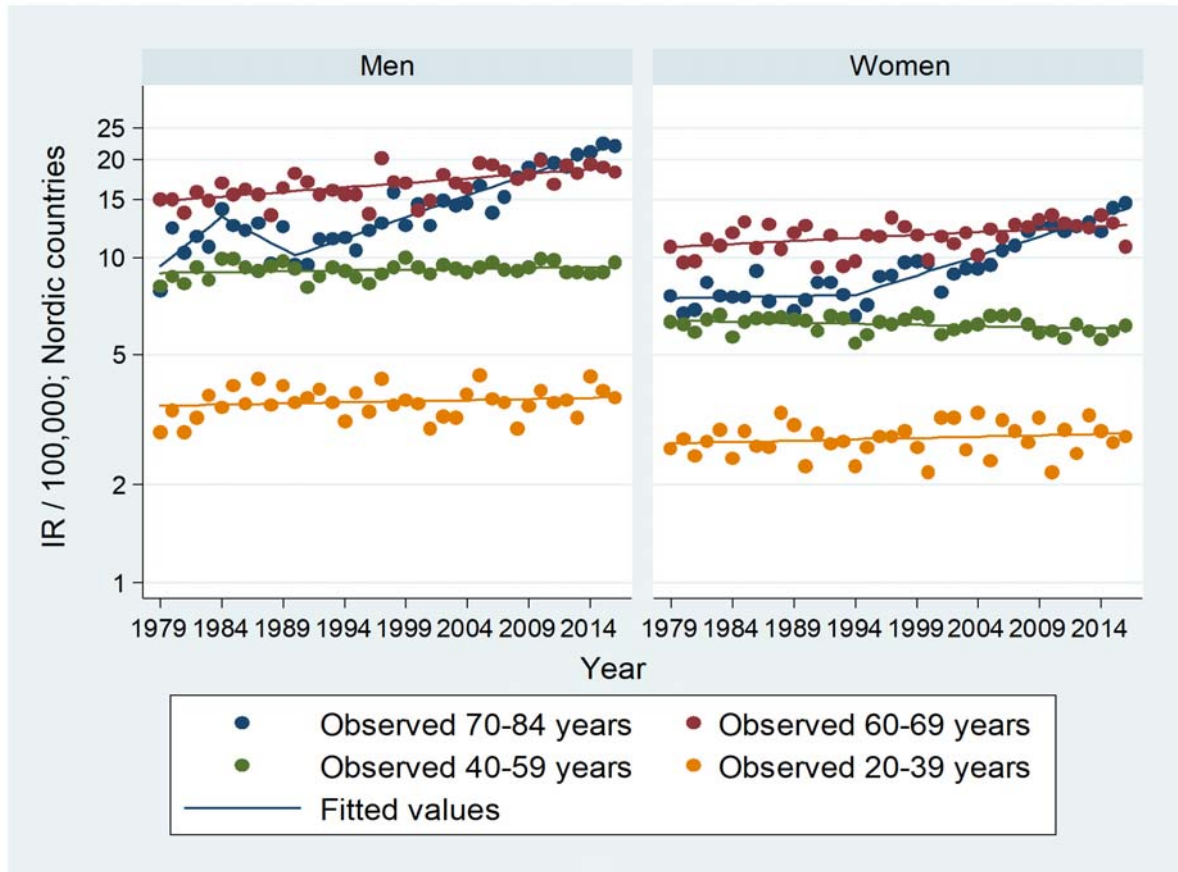


Abbildung 1: Gliom-Inzidenzraten von 1979 bis 2016 in den vier nordischen Ländern zusammen für die Altersgruppen der 20-39-Jährigen, 40-59-Jährigen, 60-69-Jährigen und 70-84-Jährigen, getrennt nach Männern und Frauen; Inzidenzraten in pro 100 000 Einwohner
(Alternativtext: Die Abbildung zeigt die Gliom-Inzidenzraten pro 100 000 Einwohner von 1979 bis 2016 in den vier nordischen Ländern zusammen für die Altersgruppen der 20-39-Jährigen, 40-59-Jährigen, 60-69-Jährigen und 70-84-Jährigen - links für die Männer und rechts für die Frauen. Eine Erklärung der Abbildung findet sich in Abschnitt 5.1.)

5.2 MODELLSCHÄTZUNGEN

Im Gegensatz zu Deltour et al. von 2012 zeigen die zugrundeliegenden Modellierungen statistisch signifikant erhöhte Risikoschätzer, so dass die Betrachtung über die Power nicht informativ ist. Die modellierten Risikoschätzer liegen für alle Nutzer*innen (mit einem Nutzungsverhalten gemäß der Interphone-Studie) bei den 40- bis 59-Jährigen für Induktionszeiten von 0, 5, 10, 15 und 20 Jahren zwischen 1,05 und 1,07, mit einer oberen Konfidenzgrenze von 11 % bis 12 % für 0, 5, 10 und 15 Jahre und 21 % für 20 Jahre. Bei den 60- bis 69-Jährigen liegen die modellierten Risikoschätzer bei 21 % bis 40 % (unter der Annahme ein Inzidenzanstieg wäre vollständig durch Mobilfunk verursacht), d.h. die Schätzer weichen in den beiden Altersgruppen deutlich voneinander ab. Sogar die 95 %-Konfidenzintervalle überlappen sich bis auf eine Ausnahme nicht. Dies widerspricht der Beobachtung eines altersunabhängigen Gliom-Risikos durch Mobiltelefonnutzung und damit der Annahme, dass der Inzidenzanstieg bei den Älteren vollständig auf Mobilfunk zurückzuführen ist. Die obere Konfidenzgrenze der 40- bis 59-Jährigen kann daher als Indikator dienen, welche Risikoerhöhungen theoretisch mit den tatsächlich beob-

achteten Inzidenzraten kompatibel wären. Ein verbesserter statistischer Ansatz ist allerdings Kapitel 5.3.

5.3 SIMULATIONSSTUDIEN

Die SIR-Analysen zeigen für die Gruppe der 40-59-jährigen Männer, dass nur sehr niedrige Risiken durch Mobiltelefonnutzung und längere Induktionszeiten plausibel sein können (Tabelle 2; kompatible Szenarien fett gedruckt).

Bei einer Induktionszeit von 5 bis 10 Jahren wären nur Risiken von unter 10 % denkbar. Für eine 20-jährige Induktionszeit unter 50 %. Für häufige Nutzer*innen von 1 640 Stunden und mehr wäre nur ein Anstieg unter 20 % denkbar, was niedriger liegt als der in der entsprechenden Interphone-Studie ermittelte Risikoschätzer von 40 %. Unter der Annahme, dass dieses Risiko auf GSM (Global System for Mobile Communications) oder frühere Technologien beschränkt war, müsste der Anstieg unter 50 % liegen, wäre aber in diesem Fall mit der Interphone-Studie kompatibel.

Tabelle 2: Standardisierte Inzidenzraten (SIR) beim Vergleich der tatsächlich beobachteten Inzidenzraten bei 40-59-jährigen Männern in den nordischen Ländern mit simulierten Inzidenzraten unter verschiedenen Mobilfunk-assoziierten Risiken

Risiko (RR) ^{a*}	Alle Nutzer*innen, Induktionszeit...			Häufige Nutzer*innen	
	...5 Jahre	...10 Jahre	...20 Jahre	1640h+	1640+ bis 2003
RR=2,0	0,70 (0,71)	0,77 (0,78)	0,94 (0,96)	0,86 (0,88)	0,93 (0,95)
RR=1,5	0,83 (0,84)	0,87 (0,89)	0,98 (1,00)	0,93 (0,95)	0,97 (0,99)
RR=1,2	0,93 (0,95)	0,95 (0,97)	1,00 (1,02)	0,98 (1,00)	0,99 (1,01)
RR=1,1	0,97 (0,99)	0,98 (1,00)	1,00 (1,02)	0,99 (1,01)	1,00 (1,02)
RR=1,05	0,99 (1,01)	1,00 (1,02)	1,01 (1,03)	1,00 (1,02)	1,01 (1,03)

^{a*} Relatives Risiko und obere 95 %-Konfidenzgrenze

Für die Gruppe der 60- bis 69-jährigen Männer ergibt sich ein deutlich anderes Bild. Hier sind tendenziell höhere Risiken durch Mobiltelefonnutzung plausibel. Wie bereits erwähnt: die Fall-Kontroll-Studien postulierten aber altersunabhängige erhöhte Gliom-Risiken. Nur zwei der untersuchten Szenarien waren über beide Altersgruppen hinweg plausibel: Ein relatives Risiko von 1,08 bei einer 10-jährigen Induktionszeit und ein relatives Risiko von 1,3 bei einer 20-jährigen Induktionszeit, wenn für alle Nutzer*innen ein Mobiltelefonnutzungsverhalten gemäß der Interphone-Studie angenommen wird und wenn dreiviertel aller Gliom-Neuerkrankungsfälle auf andere Faktoren als einem erhöhten Risiko durch Mobiltelefonnutzung zurückgeführt werden. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass in der Interphone-Studie unter den häufigsten Nutzer*innen ein Risiko selbst in der Gruppe mit einer Induktionszeit von 1 bis 4 Jahren beobachtet wurde (nominell sogar der stärkste Anstieg). Zusammengefasst bedeutet dies, dass aufgrund der Kompatibilität mit den Gliom-Inzidenzraten das Risiko in der Interphone-Studie zumindest überschätzt wurde. Ein geringeres Risiko ist nicht auszuschließen, aber der Inzidenzverlauf ist selbstverständlich auch mit der Hypothese kompatibel, dass keinerlei Risiko vorliegt.

Die in den nordischen Ländern beobachteten Inzidenzraten des Glioms zeigen keine Hinweise auf ein mit Mobiltelefonnutzung assoziiertes erhöhtes Gliom-Risiko. Sollte sich in experimenteller Forschung zeigen, dass hochfrequente elektromagnetische Felder krebserregend sein können, wäre ein unter Mobiltelefonnutzer*innen resultierendes Risiko unter den gegebenen Nutzungsbedingungen gering. Die in Fall-Kontroll-Studien beobachteten erhöhten Risiken hingegen sind entweder auf methodische Probleme der Studien zurückzuführen (Risiko für alle Nutzer*innen) oder sehr unwahrscheinlich (Risiko für sehr häufige Nutzer*innen).

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Es gibt bisher - bei umfangreicher Datenlage - keine wissenschaftlich gesicherten Belege für negative Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Einhaltung der bestehenden Grenzwerte. Tierexperimente zu Krebserkrankungen und Mobilfunk unterhalb der bestehenden Grenzwerte geben keine wissenschaft-

lich belastbaren Hinweise auf einen Zusammenhang. Zudem ist kein Wirkmechanismus von Mobilfunkfeldern bekannt, der an einer Krebsentstehung beteiligt sein könnte. Hinsichtlich des Risikos, an einem Gliom zu erkranken, legen die meisten epidemiologischen Studien nahe, dass es keinen Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Gliom-Risiko gibt. Auch in der Studie von Deltour und Schüz wurde kein auffälliger Anstieg der Inzidenzraten, der mit der Verbreitung der Nutzung von Mobiltelefonen in Zusammenhang stehen könnte, festgestellt. Das BfS bleibt deshalb bei seiner Einschätzung, dass nach bisherigem Kenntnisstand bei Einhaltung der Grenzwerte keine gesundheitsschädigende Effekte durch Mobilfunk wissenschaftlich belegt sind.

Auf Basis vergleichsweise kurzer Mobiltelefonnutzungsdauer bleiben Unsicherheiten zum Hirntumorrisiko bei Vielnutzer*innen und zum Krebsrisiko nach einer Nutzungsdauer von 15 Jahren weiter bestehen. Das BfS wird deshalb die Forschung zu möglichen Risiken durch Mobiltelefonnutzung weiter vorantreiben und laufende Kohortenstudien zu Handynutzung beobachten und bewerten.

2.9 Themenbereich 09

Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm / Stromnetzausbau

2.9 *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			
<i>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</i>			
Kennzeichen 3619S92412	Beginn 01.08.2019	Ende 30.09.2021	Fördermittel EUR 104.851,-
Forschungs- / Auftragnehmer adelphi research gemeinnützige GmbH, Berlin			
Projektleitung G. Will	Fachbetreuung BfS M. Kornek / KEMF	verantwortlich für den Text G. Will	

1. ZIELSETZUNG

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens war es, Inhalte und nicht-digitale sowie digitale Fortbildungsformate für sogenannte „Wissensvermittler*innen“ zu entwickeln, an die sich besorgte Bürger*innen zum Thema der potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern (EMF) ausgehend von Stromleitungen wenden könnten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben gliederte sich in insgesamt vier Arbeitspakete (AP), die mit Ende der Projektlaufzeit alle abgeschlossen werden konnten.

Arbeitspaket 1 umfasste die Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik.

Arbeitspaket 2 beinhaltete die Rekrutierung relevanter Multiplikator*innen bzw. Wissensvermittler*innen und bestand aus drei Einzelzielsetzungen: In einem ersten Schritt wurden relevante Wissensvermittler*innen identifiziert, um Kriterien und Voraussetzungen für eine erfolgreiche Wissensvermittlung zu analysieren sowie Treiber und Hemmnisse für die Nutzung von Fortbildungsangeboten zu ermitteln (Arbeitsschritt 1). In einem nächsten Arbeitsschritt wurden Bildungsstrukturanalysen für die von Netzausbauvorhaben relevanten Bundesländer erstellt, um mögliche Schwerpunkte für die zu erstellenden Bildungsangebote zu identifizieren (Arbeitsschritt 2). In einem letzten Arbeitsschritt wurden ca. 30-40 informelle Gespräche mit Vertreter*innen aus den Bereichen Schule, Medizin und Kommunen geführt. Der informelle Charakter war bei vielen Akteur*innen Voraussetzung für den Zugang zu Mensch und Institution. Allein der Begriff des „Interviews“ in der Email-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 verantwortlichen Ministerien erfolgen musste. Mit elf Vertreter*innen wurden „offizielle“ und längere Interviews zwischen 30 und 45 Minuten durchgeführt (Arbeitsschritt 3).

Arbeitspaket 3 umfasste die Entwicklung von Fortbildungskonzepten und sah folgende Aufgaben vor: Berücksichtigung von unterschiedlichen Wissensvermittler*innengruppen (hier: Lehrkräfte, Ärzte und Ärztinnen, Behördenmitarbeiter*innen/Arbeitsschritt 1), Entwicklung von Fortbildungskonzepten „Präsenzveranstaltungen“ (hier: fokussiert auf die Zielgruppe Lehrkräfte/Arbeitsschritt 2) sowie die Entwicklung von Fortbildungskonzepten „Tools im Internet“ (hier: fokussiert auf die Zielgruppe Lehrkräfte/Arbeitsschritt 3).

Das abschließende Arbeitspaket 4 bestand aus einem kleinen Test der Fortbildungsunterlagen und der entwickelten Tools. Es umfasste die Rekrutierung von Proband*innen (Arbeitsschritt 1), die Durchführung von Tests durch Vertreter*innen der drei Zielgruppen (Arbeitsschritt 2) sowie die Auswertung und finale Berichterlegung.

3. METHODIK

Für die Arbeitspakete 1 und 2 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 der potenziellen Wissensvermittler*innen (identifizierte Institutionen und relevante Institutionen).

Für die Arbeitspakete 3 und 4 wurden die folgenden Methoden eingesetzt:

- Literaturrecherche: Ergänzend zu den Arbeiten für AP 1 wurde Quellenrecherche betrieben, um die Schulungsinhalte gezielt zu ergänzen, weiterführende Formate (z. B. Links zu geeigneten Lehrvideos, weiterführende Informationsangebote) zu identifizieren sowie passende Arbeitsmaterialien zu erstellen (z. B. Unterrichtsmaterialien).
- Aufbereitung der Schulungsinhalte für die Zielgruppen Ärzte und Ärztinnen und Lehrkräfte in Form von Foliensätzen; Umsetzung einer lerngerechten Visualisierung der Materialien.
- eLearning-Angebot: Konzeption und Umsetzung eines Kurses für die Zielgruppe Lehrkräfte auf der Plattform Moodle, sukzessives Einpflegen der Module sowie schrittweise Optimierung der Nutzerführung und Erstellung der Lernerfolgskontrollen.
- Durchführung eines Fokusgruppengesprächs mit Lehrkräften (AP 4) zur Erprobung der Materialien: Teilnehmendenrecherche und -ansprache; Erstellung und Versand eines Kurzfragebogens sowie Durchführung qualitativer Telefoninterview zwecks Teilnehmendenfeedback; Moderation und Visualisierung der Gesprächsinhalte.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 DURCHFÜHRUNG VON AP 1 UND 2

In einem ersten Schritt wurden eine umfangreiche Literaturanalyse und Desktoprecherche zur Identifikation des aktuellen Standes der Wissenschaft durchgeführt. Die Literaturanalyse umfasste in ihren Schwerpunkten folgende Themenkomplexe:

- Faktoren der Glaubwürdigkeit für politische Institutionen, Multiplikator*innen und Wissensvermittler*innen.
- Fort- und Weiterbildungsstrukturen von Lehrer*innen.
- Fort- und Weiterbildungsstrukturen von Ärzt*innen.
- Identifikation von kommunalen Fort- und Weiterbildungsinstitutionen und von Multiplikator*innen für Behörden und Kommunen.

Wie oben skizziert, bildeten Literaturanalyse und insbesondere die Desktop-Recherche die Grundlage für die Auswahl der Expert*innen für die Interviews. Die interviewten Expert*innen haben wiederum Empfehlungen für die Ansprache spezifischer Personen und Institutionen gegeben. In Summe wurden ca. 30-40 informelle Gespräche mit Vertreter*innen aus den Bereichen Schule, Medizin und Kommunen geführt. Der informelle Charakter war bei vielen Akteur*innen Voraussetzung für den Zugang zu Mensch und Institution. Allein der Begriff des „Interviews“ in der E-Mail-Anfrage hat bei vielen Vertreter*innen reflexhafte Reaktionen der Abwehr bzw. der Rückversicherung hervorgerufen, so dass in Ein-

zelfällen eine zeitintensive Abstimmung/Freigabe mit Vertreter*innen verantwortlichen Ministerien erfolgen musste. Mit elf Vertreter*innen wurden „offizielle“ und längere Interviews zwischen 30 und 45 Minuten durchgeführt.

Für die vom Netzausbau betroffenen Bundesländer wie Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Thüringen wurden jeweils übersichtliche Bildungsstrukturanalysen zu den Zielgruppen der Lehrer*innen und Mediziner*innen angefertigt. Auf eine Bildungsstrukturanalyse der Bundesländer Sachsen, Berlin, Bremen, Hamburg und Saarland wurde aufgrund der geringen Betroffenheit vom Netzausbau verzichtet.

4.2 DURCHFÜHRUNG VON AP 3 UND 4

In einem ersten Schritt wurden eine umfangreiche Literaturanalyse und Desktoprecherche zur Identifikation des aktuellen Standes der Wissenschaft durchgeführt. Ziel der Arbeiten war es, ein inhaltliches Gerüst für die Konzeption der Weiterbildungsangebote für die oben genannten Zielgruppen im Kontext von EMF zu schaffen.

Die Inhalte wurden entlang der folgenden Module aufbereitet:

- Kontext der Energiewende in Deutschland
- Umgang mit Emotionen und Ängsten
- physikalische Grundlagen
- mathematische Grundlagen
- Wirkungen von EMF auf Mensch und Umwelt
- rechtliche Grundlagen.

Das in diesem Zuge erarbeitete Dokument (im Word-Format) wurde mit dem Auftraggeber abgestimmt und bildete im Folgenden die fachlich-inhaltliche Grundlage zur Konzeption der zielgruppenspezifischen Weiterbildungs- bzw. Informationsformate (mit unterschiedlichen inhaltlichen Schwerpunkten und Detailgraden für die Zielgruppen Mediziner*innen, Lehrer*innen und Behördenvertreter*innen).

Für die Zielgruppe der Lehrer*innen wurden die Inhalte anschließend in einen Foliensatz überführt, der die Grundlage für das eLearning-Angebot (Moodle) sowie eine Präsenzveranstaltung für Lehrkräfte (Konzept inkl. Foliensatz und begleitendes Skript) legte. Neben einer ansprechenden visuellen Gestaltung umfasste dieser Arbeitsschritt auch die Aufbereitung ergänzender Informationsgrafiken und -elemente.

Für die Zielgruppe der Mediziner*innen wurde ein 45-90 minütiges Lehrvideo als geeignetes Format zur Vermittlung von Lerninhalten identifiziert. Hierzu wurde ein Skript entwickelt und mit der Auftraggeberin abgestimmt, in dem zu vermittelnde Inhalte, Botschaften, Sprechtexte sowie die entsprechende Visualisierung für das Video festgehalten wurde. Inhalte und Umfang sind auf die CME-Zertifizierung ausgelegt.

Um ein Informationsangebot für die Zielgruppe der Behördenvertreter*innen bereitzustellen, wurde in einem ersten Schritt ein Konzept erarbeitet, um den Rahmen für ein solches Angebot zu skizzieren. Nach Rücksprache mit der Auftraggeberin wurde auf dieser Grundlage eine Informationsbroschüre entwickelt und zur Verfügung gestellt.

5. ERGEBNISSE

Die im Rahmen des Vorhabens erzielten Ergebnisse lassen sich in eine inhaltliche Dimension einerseits sowie in konkrete Produkte/Outcomes andererseits untergliedern.

5.1 INHALTLICHE BEFUNDE

Inhaltlich lassen sich zunächst einige interessante Befunde aus den durchgeführten Bildungsstrukturanalysen für Ärzt*innen und Lehrer*innen gewinnen, die für die weitere Arbeit mit diesen Zielgruppen hilfreich sein sollten.

Die Analysen zeigten für die Zielgruppe der Ärzt*innen...

- eine hohe Synchronität der Fort- und Weiterbildungsstrukturen in den Bundesländern,
- die Rolle der Bundes- und Landesärztekammern als zentraler Player im Bereich Fortbildung,
- einen hohen Grad an Vernetzung zwischen den Ärztekammern,
- eine wichtige Rolle von Fachverbänden als Multiplikator im Bereich von Fortbildungen.

Auf dieser Grundlage wurde mit der Auftraggeberin beschlossen, dass ein Onlineformat zur Selbstnutzung unter Nutzung audio-visueller Komponenten (Lehrvideo) ein ressourceneffizientes und wirkstarkes Format für die Ansprache dieser Zielgruppe darstellt.

Für die Lehrer*innen offenbarte die Analyse...

- eine hohe Asynchronität der Fort- und Weiterbildungsstrukturen in den Bundesländern,
- eine relativ gute Vernetzung bei Onlineformaten und Lehrmaterialien über Bildungsserver,
- eine hohe Diversität in Bezug auf Institutionen, Strukturen und „Kulturen“ der Fort- und Weiterbildung von Lehrer*innen.

5.2 PRODUKTE UND OUTCOMES

Die im Rahmen des Vorhabens erarbeiteten Formate stellen ein gutes Grundgerüst dar, um ausgewählte Gruppen an Multiplikatoren*innen auf Basis aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse zum Thema „gesundheitliche Auswirkungen durch EMF“ zu informieren. Auf Grund der Komplexität und Vielschichtigkeit des Themas lassen sich alle Formate in möglichen Folgevorhaben zielgerichtet erweitern oder vertiefen.

The image shows a screenshot of an eLearning menu for teachers. On the left, there is a grid of icons representing different learning units: 'Kontext Energiewende', 'Grundlagen einer Umladung' (with the formula $E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r r}$), 'Risikobewertung', 'EMF Wirkung auf Mensch und Umwelt', 'Rechtliche Grundlagen', 'Unterrichtsmaterialien', and 'Kursabschluss' (with the text 'TIME TO SAY GOODBYE'). On the right, there is a slide titled '3. Wirkungen auf den menschlichen Körper' from the 'Schulungspaket 5: Wirkung auf den Menschen'. The slide lists three points: 1. Elektrische Feldstärken von einigen Tausendstel bis einigen Hundertstel V/m auf. 2. Feldstärken im Bereich einiger V/m können Reizungen (z.B. Herzkammerflimmern, Herzrhythmusstörungen) bewirken. 3. Nervenzellen (Neuronen) kommunizieren durch elektrische Spannungen im Bereich einiger Hundertstel Volt. To the right of the text is a diagram of a neuron with labels: Dendrit, Soma, Myelinscheide, synaptisches Endknöpfchen, Axon, Schwannsche Zelle, Zellkern.

Abbildung 1: Menü des eLearnings für Lehrkräfte zur Orientierung der Lernenden (l.) und beispielhafte Folie aus einer der insgesamt fünf Lerneinheiten (r.)

Das eLearning für Lehrkräfte wurde auf Basis der Lernplattform Moodle umgesetzt und bietet den Teilnehmenden einen gut strukturierten, schrittweisen Einstieg in das Thema. Der Lernstoff ist in die fünf Unterrichtseinheiten „Kontext Energiewende“, „Physikalische Grundlagen“, „Risikobewertung“, „Wirkung auf Mensch und Umwelt“ sowie „Rechtliche Grundlagen“ gegliedert. Die übersichtlich gestalteten Folien können sukzessive durchgearbeitet werden.

Jede Lerneinheit wird mit einer kurzen Lernerfolgskontrolle abgeschlossen, die - nach erfolgreicher Beantwortung - Zugang zu den weiteren Lerneinheiten ermöglicht. Neben den fünf inhaltlichen Lektionen stehen den Lehrer*innen Materialien für den Einsatz im Unterricht als Download zur Verfügung. Die Arbeitsblätter beinhalten interaktionsorientierte Arbeitsaufträge für die Schüler*innen zur Aneignung bzw. Vertiefung des Unterrichtsstoffes.

Die Zielgruppe Lehrer*innen wird darüber hinaus mit einem Konzept für eine Präsenzveranstaltung angesprochen. Das Konzept beinhaltet einen visuell ansprechenden Foliensatz sowie ein Veranstaltungsskript für die durchführende Person mit detaillierten Anweisungen, Sprechtexten sowie methodischen und didaktischen Hinweisen. Die Veranstaltung selbst vermittelt grundlegendes Wissen zu EMF und stellt die Angebote des BfS für Lehrer*innen vor. Neben inhaltlichen Inputs sieht das Konzept

Risikommunikation Netzausbau für Lehrer*innen 2021

Dashboard / Meine Kurse / Risikokommunikation Pädagogen / Risikobewertung / Test zur Risikobewertung

Frage 1
Bisher nicht beantwortet
Erreichbare Punkte: 1,00
Frage markieren

Welche Aussage über das Risiko trifft zu?

- a. Wenn das Risiko monetarisierbar ist, erleichtert seine Kenntnis Kosten-Nutzen Erwägungen
- b. Das Risiko ist die Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung
- c. Risiko und Sicherheit schließen einander aus
- d. Nur wenn jedes Risiko ausgeschlossen ist, kann die Menschheit überleben

Abbildung 2: Beispielhafte Lernerfolgskontrolle im eLearning

Feld	Frequenz	Wellenlänge
Statische elektrische und magnetische Felder	0 Hertz	
Niederfrequente elektrische und magnetische Felder (NMF)	> 0 Hertz bis zu 100 Kilohertz	Mehr als 300.000 Kilometer bis 3 Kilometer
Hochfrequente elektromagnetische Felder (EMF)	100 Kilohertz bis 300 Gigahertz	3 Kilometer bis 1 Millimeter

Bei hochfrequenten elektrischen u. magnetischen Feldern:

- Beide Komponenten sind eng miteinander gekoppelt, man spricht von elektromagnetischen Feldern
- Es wird häufig die Leistungsdichte betrachtet (Mittelwert Watt pro Quadratmeter [W/m²], Produkt aus elektrischer und magnetischer Feldstärke)

Abbildung 3: Auszüge aus dem Foliensatz der Informationsveranstaltung für Lehrkräfte

interaktive, aktivierende Elemente wie MENTI-Umfragen und Blitzlichtrunden vor. Ebenfalls enthalten ist eine Lernunterlage, die den teilnehmenden Lehrkräften im Nachgang zur Vertiefung der vermittelten Inhalte zur Verfügung gestellt werden kann.

Für Behördenvertreter*innen von Kommunen, die in besonderem Maße von Netzausbauvorhaben betroffen sind, wurde eine Broschüre erstellt, die als Argumentationshilfe und erste Orientierungshilfe rund um das Thema EMF und Stromnetze dient. Neben Erläuterungen zur Rolle neuer Stromleitungen im Kontext der deutschen Energiewende werden Beschaffenheit und Wirkung von EMF auf Mensch und Umwelt auf Basis des aktuellen wissenschaftlichen Standes erklärt. Ein besonderer Schwerpunkt (gegenüber den übrigen Materialien) liegt hier auf der Erläuterung von Grenzwerten und der Erläuterungen von Beteiligungsmöglichkeiten von Bürger*innen beim Ausbau der Stromnetze. Denn: Kommunal initiierte Kommunikation zum Netzausbau stärkt das Vertrauen in die lokalen Behörden und erhöht die Akzeptanz für die gesetzlich festgeschriebenen Netzausbauprojekte. Darüber hinaus enthält die Broschüre Linksammlungen zu relevanten Institutionen und weiterführenden Informationsangeboten für Behördenvertreter*innen im Kontext von Stromnetzen.

Die Ansprache der Zielgruppe Ärzt*innen soll in Form eines 90-minütigen Lehrvideos erfolgen, das den Anforderungen einer CME-Zertifizierung kompatibel aufgebaut und gestaltet ist. Zu diesem Zweck wurde ein Videoskript erarbeitet, das Inhalte, zentrale Botschaften sowie den ausformulierten Sprechtext des Lehrvideos formuliert. Die Visualisierung erfolgt durch einen entsprechend gestalteten Foliensatz, der sich durch eine lesegerechte Gestaltung mit reduzierten Texten und starken visuellen Elementen auszeichnet.



Abbildung 4: Titelblatt der Broschüre für Behördenvertreter*innen

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Identifizierung von relevanten Wissensvermittler*innen für den Themenbereich der elektromagnetischen Felder sowie die anschließende Eruiierung und Erarbeitung von Bildungsstrukturanalysen dienen dem BfS als Grundlage für die Bereitstellung, Platzierung und Verbreitung von Informationsinhalten. Die Entwicklung von zielgruppengerechten Fortbildungsformaten unterstützen die Informations- und Kommunikationsangebote des BfS. Mit der Konzeption von Fortbildungen für Wissensvermittler*innen sollen Multiplikatoren adressiert werden, an die sich beispielsweise besorgte Bürger*innen zum Thema der potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern wenden können.

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

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

Dr. S. Hoffmann, Dr. V. Deffner

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 SIMULATIONSSTUDIE ZUR SYSTEMATISCHEN UNTERSUCHUNG DER STATISTISCHEN METHODE (AP 3)

Die folgende Beschreibung der Einzelzielsetzung bezieht sich auf das Berichtsjahr 2021.

In AP 2 wurde eine Methode zur Berücksichtigung von Expositionsunsicherheiten bei der statistischen Risikomodellierung mit Proportional-Hazard-Modellen für die Wismut-Kohorte erarbeitet. Diese Methode 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 Risikoschätzung ohne Berücksichtigung von Expositionsunsicherheiten 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 verschiedenen komplexer Messfehlerstruktur auf die Risikoschätzer in einem Proportional-Hazard-Modell auswirken.

2.2 ANWENDUNG DES ENTWICKELTEN VERFAHRENS AUF DIE DATEN DER WISMUT-KOHOORTE (AP 4)

In AP 4 wird die entwickelte Methode zur Berücksichtigung von Unsicherheiten für verschiedene Risikomodelle auf die Daten der Wismut-Kohorte - zunächst auf die Teilkohorte mit Beschäftigungsbeginn ab 1960 - angewandt. Die berechneten Risikoschätzer für das Lungenkrebsrisiko durch Radon werden mit den Ergebnissen aus früheren Berechnungen ohne Berücksichtigung von Expositionsunsicherheiten verglichen. In einem nächsten Schritt wird die entwickelte Methode auf die Daten der gesamten Kohorte angewandt. Abschließend wird sie hinsichtlich ihrer Eignung für die Wismut-Kohorte sowie ihrer allgemeinen Anwendbarkeit untersucht. Zudem wird die Effektstabilität des Lungenkrebsrisikos durch Radon in Abhängigkeit von der Höhe der berücksichtigten Expositionsunsicherheiten beurteilt.

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

Die folgende Beschreibung der Durchführung bezieht sich auf das Berichtsjahr 2021.

4.1 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.

4.2 ANWENDUNG DES ENTWICKELTEN VERFAHRENS AUF DIE DATEN DER WISMUT-KOHORTE

Zur Anwendung des entwickelten Verfahrens auf den Daten der Wismut-Kohorte wurde ein Datensatz für die Teilkohorte mit Beschäftigungsbeginn ab 1960 ohne Aufbereiter erstellt, der um einige Variablen erweitert wurde. Diese Variablen beinhalten Informationen zur Berechnung der Exposition, zudem charakterisieren und quantifizieren sie - soweit möglich - die Arten von Unsicherheit in der Kohorte näher. Nachdem der Bundesbeauftragte für den Datenschutz und die Informationsfreiheit (BfDI) einen Antrag des BfS auf Nutzung der erweiterten individuellen Daten der Wismut-Kohorte positiv beantwortete, wurden die Daten für AP 4 übergeben, um das entwickelte Verfahren auf die Daten der Wismut-Kohorte anzuwenden. Das entwickelte Verfahren besteht im Wesentlichen aus einem Risikomodell, einem Messfehlermodell und einem Expositionsmodell. Als Risikomodell wird ein Proportional-Hazard-Modell ohne effektmodifizierende Variablen verwendet. Das Messfehlermodell beschreibt die Unsicherheit bei der Verwendung von Expositionsmessungen in der Umgebungsluft zur Schätzung der individuellen Exposition (Generalisierungsfehler) sowie, je nach Expositionsjahr, verschiedene Unsicherheitskomponenten in der Bestimmung des Gleichgewichtsfaktors, des Arbeitszeitfaktors, des Faktors zur Gewichtung der Tätigkeiten und in dem Faktor zur Korrektur der Belüftung. Die resultierenden Risikoschätzer werden mit Ergebnissen aus Berechnungen ohne Berücksichtigung von Expositionsunsicherheiten verglichen.

5. ERGEBNISSE

Folgende Ergebnisse wurden im Berichtsjahr 2021 erreicht. Zu AP 3 wurde dem BfS ein Zwischenbericht übergeben. In diesem Arbeitsbericht werden die Ergebnisse der in AP 3 durchgeführten Simulationsstudie beschrieben, die das entwickelte Verfahren mit „*Regression Calibration*“ und „*Simulation Extrapolation*“ vergleichen und es wird die Anwendbarkeit und die praktische Relevanz der entwickelten Methode für die Daten der Wismut-Kohorte abgeleitet. Dazu wurden verschiedene Stufen der Komplexität des Messfehlermodells für den Zeitraum zwischen 1955/56 und 1965 für Objekte in Sachsen und 1974 für Objekte in Thüringen, in dem die Strahlenexpositionsabschätzung auf Radongasmessungen beruhte, untersucht. Weiterhin wurden die Auswirkungen falscher Annahmen auf die Risikoabschätzung untersucht.

Für die Simulationsstudie werden zunächst auf der Basis eines datengenerierenden Prozesses, der an die Daten der Wismut-Studie angelehnt ist, künstliche Datensätze generiert. Hierbei werden Expositi-

onsprofile von 1 000 Beschäftigten der Wismut-Kohorte gewählt, die im Zeitraum nach 1960 beschäftigt waren. Für die Jahre, in denen die Beschäftigten exponiert waren, werden Werte für die Messungen von Radongas, den Gleichgewichtsfaktor, den Arbeitszeitfaktor und den Faktor zur Gewichtung der Tätigkeiten generiert, die in der Simulationsstudie als Werte ohne Unsicherheiten verwendet werden. Zusätzlich werden Messfehler generiert, die sowohl in ihrer Größe als auch in ihrer Struktur den Expositionsunsicherheiten in der Wismut-Kohorte entsprechen. Zudem wird ein Risikoschätzer, hier der relative Zuwachs der Hazardrate, von 0,30 pro 100 Working Level Months (WLM) angenommen. Basierend auf diesem Risikoschätzer werden für alle Beschäftigten Überlebenszeiten generiert. In einem letzten Schritt werden Risikomodelle mit den generierten, mit Expositionsunsicherheiten behafteten Daten geschätzt und verglichen.

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Simulationsstudie für den entwickelten Ansatz im Vergleich zu einer Schätzung, die keine Messfehler berücksichtigt sowie zu den klassischen Ansätzen „*Regression Calibration*“ und „*Simulation Extrapolation*“. Wenn Expositionsunsicherheiten im Risikomodell nicht berücksichtigt werden, erhält man im Mittel einen Risikoschätzer von 0,23 pro 100 WLM. Dieser Risikoschätzer ist im Vergleich zum wahren Wert von 0,30 um ca. 21 % geringer. Sowohl „*Regression Calibration*“ als auch der vorgeschlagene Bayesianische Ansatz können die absolute relative Verzerrung auf unter 5 % reduzieren, während „*Simulation Extrapolation*“ eine absolute relative Verzerrung von etwa 14 % aufweist. In der Spalte „Überdeckungswahrscheinlichkeit“ wird eine Schätzung der Wahrscheinlichkeit angegeben, mit der das Unsicherheitsintervall des Risikoschätzers den wahren Wert von 0,30 pro 100 WLM, der für die Datengenerierung verwendet wurde, überdeckt. „*Regression Calibration*“ führt allerdings zu sehr engen Unsicherheitsintervallen, die den wahren Wert nur in 37 % der Fälle überdecken, während der vorgeschlagene Bayesianische Ansatz zu einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von 98 % führt.

Tabelle 1: Vergleich der Risikoschätzer in der Simulationsstudie für den vorgeschlagenen Bayesianischen Ansatz mit „*Regression Calibration*“, „*Simulation Extrapolation*“ und einer naiven Schätzung, die die Messfehler nicht berücksichtigt.

	Risikoschätzer pro 100 WLM	Relative Verzerrung	Überdeckungswahrscheinlichkeit
Ohne Berücksichtigung von Messfehlern	0,23	-0,2063 %	0,22 %
„ <i>Regression Calibration</i> “	0,29	-0,0391 %	0,37 %
„ <i>Simulation Extrapolation</i> “	0,26	-0,1381 %	0,6 %
Bayesianischer Ansatz	0,31	0,035 %	0,98 %

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

AP 4 ist entsprechend der unter Abschnitt 4.2 formulierten Arbeitsschritte in Bearbeitung. Der Datensatz für die Kohorte mit Beschäftigungsbeginn nach 1960 ohne Aufbereiter wurde erarbeitet und vom BfS übergeben. In einem ersten Schritt wird das Messfehlermodell für den Zeitraum zwischen 1955/56 und 1965 für Objekte in Sachsen und 1974 für Objekte in Thüringen auf die Daten der Wismut-Kohorte angewandt. Dann wird schrittweise die Komplexität und die Anzahl an verschiedenen Messfehlermodellen gesteigert. Schließlich werden Risikoschätzer für komplexere Modelle, die beispielsweise die Zeit seit der Exposition berücksichtigen, berechnet und mit der naiven Risikoschätzung ohne Messfehlerkorrektur verglichen.

Thema

Natürliche Radionuklide in Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland – Erfassung und Evaluierung der im Kontext der Richtlinie 2013/51/Euratom erhobenen TrinkwV Anlage 3a-Daten

Subject

Natural radionuclides in drinking water in the Federal Republic of Germany - collection and evaluation of the Drinking Water Ordinance Annex 3a Data Collected in the context of Directive 2013/51/Euratom

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3620S12281	01.08.2020	31.07.2022	EUR 366.512,-

Forschungs- / Auftragnehmer

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

Projektleitung

Dr. A. Artmann

Fachbetreuung BfS

Dr. P. Hofmann / UR 4

verantwortlich für den Text

Dr. A. Artmann

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen dieses Vorhabens sind die Daten von ca. 15 000 Wasserversorgungsanlagen hinsichtlich des Vorkommens natürlicher Radionuklide im Trinkwasser (TrinkwV Anlage 2, Anlage 3a) abzufragen. Die Datenabfrage hat bei den ca. 4 200 öffentlichen Wasserversorgungsunternehmen in Deutschland zu erfolgen. Ergänzt werden sollten die Daten durch Informationen zur Geologie des Grundwasserleiters, zur Herkunft des genutzten Trinkwassers, zur Wasseraufbereitung im Wasserwerk und zu den zeitgleich erhobenen chemischen Parametern (TrinkwV Anlage 2, Anlage 3 Teil I). Im Mittelpunkt dieses Vorhabens steht die Zusammenführung und Validierung der Daten in einer Datenbank.

Die zentrale Erfassung der Daten ermöglicht einen umfänglichen räumlichen und zeitlichen Überblick über die Radionuklidgehalte natürlichen Ursprungs im Trinkwasser in Deutschland. Mit Hilfe der Daten kann dann der Einfluss auf die Strahlenexposition der Bevölkerung detaillierter bewertet und hieraus erforderlichenfalls Schutzkonzepte abgeleitet werden. Weiterhin könnten dezidiere Empfehlungen für Inhaber/Betreiber von Wasserversorgungsanlagen sowie der zuständigen Gesundheitsämter ausgesprochen werden, die Bevölkerung spezifischer informiert und Gremienarbeit (z. B. WHO, IAEA) effektiver begleitet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Folgende technische Einzelziele sind für einen erfolgreichem Abschluss des Vorhabens relevant:

- Recherche und Zusammenstellung der Wasserversorgungsunternehmen in Deutschland
- Entwicklung eines Fragebogens
- Entwicklung eines Datenbankkonzeptes
- Erstellung der Datenbank
- Durchführung der Datenerhebung
- Validierung und Auswertung der erhobenen Daten
- Veröffentlichung der Vorhabensergebnisse

3. METHODIK

Die Arbeiten im Rahmen des Forschungsvorhabens werden in den folgenden Arbeitspaketen (AP) durchgeführt:

- Strategie zur Datenabfrage und Datenbankkonzept (AP 1)

- Bestandsaufnahme über die Anzahl und Lokalität der öffentlichen Wasserversorgungsanlagen in Deutschland (AP 1.1)
- Erstellung eines Konzeptes für eine Oracle Datenbank (AP 1.2)
- Erstellung eines Kurzberichtes über die Ergebnisse des AP 1 (AP 1.3)
- Erstellung des Fragebogens und der Datenbank (AP 2)
- Erstellung des Fragebogens (AP 2.1)
- Erstellung der Datenbank mit Oracle Application Express (APEX) (AP 2.2)
- Erstellung der elektronischen Version des Fragebogens (AP 2.3)
- Durchführung der Abfrage (AP 3)
- Bewertung und Auswertung der Daten (AP 4)
- Ergebnisdarstellung und Abschlussbericht (AP 5)

4. DURCHFÜHRUNG

Im AP 1.1 wurden die geographischen Grundlagen recherchiert. Aus der Regionaldatenbank Deutschland wurde die Tabelle 32271-01-01-5, Stichtag 01.01.2019, heruntergeladen. Insgesamt enthielt die Tabelle 13 385 Datensätze zu Bundesland, Länderschlüssel, Gemeindegemeinschaft und Name der Gemeinde in Deutschland.

Zur Bestandsaufnahme der kommunalen Wasserversorgung in Deutschland wurden Kontakte zum Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) sowie zum DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.) aufgenommen. Bei weiteren Recherchen wurden der Abschlussbericht und der Anlagenband des Berichtes des „Bundesministeriums für Gesundheit und des Umweltbundesamtes an die Verbraucherinnen und Verbraucher über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasser) in Deutschland 2014 – 2016“ aufgefunden und ausgewertet. Zu ca. 2 500 Wasserversorgungsgebieten in Deutschland wurden dem Anlagenband die folgenden Informationen entnommen und datentechnisch aufbereitet:

- Name des Wasserversorgungsgebietes
- Code des Wasserversorgungsgebietes
- versorgte Gemeinden
- versorgte Bevölkerung
- abgegebenes Wasservolumen pro Tag (m³/d).

Die bisher zusammengestellten Informationen wurden um Informationen zu Kontaktmöglichkeiten wie Postanschrift, E-Mail-Adressen und Telefonnummern relevanter Ansprechpartner*innen von Wasserversorgungsunternehmen (WVU) komplettiert.

Im Berichtszeitraum wurde der Datenbestand durch weitere Recherchen so aufgestockt, dass für jedes Bundesland mindestens 20 % aller Wasserversorgungsunternehmen und ihrer Kontaktmöglichkeiten vorliegen. Die Aufstockung des Datenbestandes wird parallel zur Bearbeitung des Projektes kontinuierlich fortgeführt und angepasst.

Im AP 1.2 wurde das Konzept für eine Oracle-Datenbank, das u. a. die vorgesehene Datenstruktur, die Anforderungen an die Bedienoberfläche und den Datenzugriff vorsieht, erstellt und dem Auftraggeber vorgestellt.

Im Arbeitspaket 2.1 wurde ausgehend von der Vorlage der Fachbegleitung und den Ergebnissen aus dem AP 1 das für den AP 2.2 notwendige Fragebogenformat entwickelt und erstellt. Folgende Abschnitte hat der Fragebogen grundsätzlich zu beinhalten:

- allgemeine Informationen zu der Wasserversorgungsanlage, etwa zum Standort inklusive geographischer Koordinaten (Originaldaten und Umrechnung aller Daten falls erforderlich in das geographische Koordinatensystem (WGS 84) im Dezimalformat), der mittleren jährlichen Fördermenge, Anzahl der

versorgten Personen und zu den entsprechend beauftragten Analyselaboren (Anlage 2, 3, 3a TrinkwV)

- Angaben zur Herkunft und Aufbereitung des Wassers inklusive der geologischen Angaben zum Aquifer/Untergrund/Untergrundgestein
- Ergebnisse nach Anlage 3a TrinkwV, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Quartalsmessungen für Radon und den Messgrößen, die zur Bewertung der Richtdosis herangezogen wurden
- chemische Parameter und Indikatorparameter aus Teil I und II der Anlage 2 und aus Teil I der Anlage 3 TrinkwV, welche für die Betrachtung und Charakterisierung der in Abschnitt 3 generierten Daten relevant sein könnten.

Im AP 2.2 wurde ein Prototyp der Datenbank mit APEX entwickelt. Das Frontend des Datenbanksystems ist unter Windows 10 als Webapplikation lauffähig. Als Browser wird dabei der Firefox (ESR) unterstützt.

Im AP 2.3 wurde die elektronische Version des Fragebogens als Datenbankeingabeoberfläche erstellt und dem Auftraggeber am 01.03.2021 per Videokonferenz ausführlich vorgestellt. Im Anschluss an die Vorstellung und der sich anschließenden Testphase ergaben sich noch seitens des Auftraggebers Verbesserungs- und Korrekturvorschläge. Die Vorschläge wurden in einem QM-Dokument zusammengefasst und entsprechend umgesetzt.

Im Rahmen des AP 3 wurde am 15.05.2021 mit der Datenerhebung begonnen. In einem ersten Schritt wurde ein ausgewähltes Wasserversorgungsunternehmen angeschrieben, um die Bedienoberfläche im Praxistest zu erproben.

Im Juni 2021 wurden in einzelnen Kampagnen je 100 Wasserversorger per E-Mail angeschrieben. Im Anschreiben wurde jedem Unternehmen ein Benutzername und ein Passwort mitgeteilt. Rückfragen zu Eingabeproblemen wurden telefonisch beantwortet. Die Bedienoberfläche wurde nach Rückmeldungen der Wasserversorger bei entsprechendem Bedarf überarbeitet.

Da die Rückmeldungsquote zu der Datenerhebung durch direktes Anschreiben der Wasserversorger per E-Mail (insgesamt ca. 1 000 WVU) weit hinter den Erwartungen zurückblieb, wurde mit dem Auftraggeber eine Änderung der Vorgehensweise abgestimmt. Mit dem Auftraggeber wurde ein Anschreiben für das BMUV vorbereitet, das an die für das Trinkwasser zuständigen Landesbehörden gerichtet ist. Das Schreiben wurde Ende Oktober versendet.

Mit Ausnahme von zwei Bundesländern haben alle Landesbehörden Auszüge aus ihren eigenen Datenbanken zur Integration in die Datenbank der GRS zur Verfügung gestellt. Ein Bundesland hatte wegen der bekannten geringen Gehalte an natürlichen Radionukliden in den Trinkwässern mit einem Schreiben bezogen auf „Hinweise zur Ausführung des Ausnahmetatbestandes in §14a Absatz 4 Satz 1 Trinkwasserverordnung (TrinkwV)“ seine Wasserversorger für 5 Jahre von einer Nachweispflicht befreit. Es werden aber die Grundwasserdaten, die zu der vorgenannten Befreiung der Nachweispflicht führten, zur Datenerhebung beigesteuert. Ein anderes Bundesland verfügt über keine zentrale Datenbank und hat die Anfrage an die Wasserversorger weitergeleitet. Im Zeitraum November bis Dezember haben sich ca. 30 Wasserversorgungsunternehmen gemeldet und entsprechende Zugangsdaten erhalten. Die Datenbank wird insbesondere durch Rückmeldungen der Anwender fortwährend optimiert.

Arbeiten zu den AP 4 und AP 5 wurden planmäßig noch nicht begonnen.

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Arbeiten in den AP 1.1 und AP 1.2 wurden im Rahmen des AP 1.3 in einem Kurzbericht dokumentiert.

Im AP 2 wurde die elektronische Version des Fragebogens als Datenbankeingabeoberfläche erstellt und am 01.03.2021 dem Auftraggeber vorgestellt. Nach Ergänzungen und Korrekturen wurde die Datenbank am 15.05.2021 zur Eingabe für die Wasserversorgungsunternehmen auf einem GRS-Server online gestellt.

Insbesondere durch das Anschreiben des BMUV an die Landesbehörden, konnten im AP 3 bisher ca. 6 700 Datensätze von den verschiedenen Wasserversorgern und Landesbehörden zu den Ergebnissen der Radionuklidanalytik an die GRS übersendet bzw. direkt in die Datenbank eingegeben werden. Die Daten wurden von der GRS geprüft, wenn nötig an die Struktur der Datenbank angepasst und mit den Einträgen zu Gemeinden und Wasserversorgern verknüpft.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeitspakete werden entsprechend ihrer Fragestellungen weiterbearbeitet.

Thema

Untersuchung der Abhängigkeit von Radoneintrittsrates und Luftwechsel von Witterungsparametern und Nutzerverhalten als Grundlage für die Beurteilung der Radondichtheit von Gebäuden

Subject

Investigation of the dependence of radon entry rate and air exchange rate in relation to weather parameters and user behavior as a baseline for assessing the radon tightness of buildings

Kennzeichen
3621S12220

Beginn
02.07.2021

Ende
02.04.2024

Fördermittel
EUR 104.904,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Dr. Thomas Haumann Sachverständigenbüro für Radonanalytik und Baubiologie
Am Ruhrstein 59, D-45133 Essen

Projektleitung
Dr. T. Haumann

Fachbetreuung BfS
Dr. N. Suhr / UR 2

verantwortlich für den Text
Dr. T. Haumann

1. ZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben behandelt die Untersuchung der Abhängigkeit von Radoneintrittsrates und Luftwechsel von Witterungsparametern und Nutzerverhalten als Grundlage für die Beurteilung der Radondichtheit von Gebäuden. In diesem Vorhaben sollen die beiden Zielgrößen für ausgewählte Gebäude kontinuierlich oder mittels typische Wetterlagen abdeckenden Stichproben ermittelt werden. Dazu ist der aktuelle Stand von Forschung und Technik zu recherchieren. Geprüft werden soll dabei auch, welches in Innenräumen vorkommende, leicht messbare Gas anstelle einer Untersuchung mit Tracer-gas zur Bestimmung des Luftwechsels herangezogen werden kann. Auf der Basis der Ergebnisse sind die typischen Abhängigkeiten beider Größen von der Witterung zu untersuchen und der Einfluss des Nutzerverhaltens (manuelle Lüftung) zu ermitteln. Ziel ist es, mit Hilfe der aus experimentellen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse und verfügbaren Modellen zu Innenraumnoxen Methoden zur Schätzung der benötigten Jahresmittelwerte zu entwickeln.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben gliedert sich in 5 Arbeitspakete.

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

Eine detaillierte Aufarbeitung und Dokumentation des für das Vorhaben relevanten Standes von Wissenschaft und Technik erfolgt als erster Arbeitsschritt in Arbeitspaket 1. Neben den in der Leistungsbeschreibung zitierten Publikationen werden relevante Studien zu gebäudespezifischen Untersuchungen in Bezug auf die Radoneintrittsrates, Luftwechsel und Differenzdruck in einer Literaturstudie vorgestellt. Weiterhin wird neben der Literaturstudie auch eine umfassende Evaluierung messtechnischer Anforderungen insbesondere von elektronischen Radonmessgeräten sowie Messgeräten und Messmethoden in Bezug auf den Luftwechsel, Radoneintrittsrates, Differenzdruck, in Frage kommender Tracer-gase sowie Quantifizierung, Differenzierung und Lokalisierung des konvektiven und diffusiven Radoneintritts inkl. Radon-Sniffing durchgeführt. In diesem ersten Bearbeitungsschritt wird der vorliegende Stand von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens ausführlich aufgearbeitet.

2.2 PLANUNG EINER MESSSTRATEGIE UND ABSTIMMUNG MIT DEM AUFTRAGGEBER (AP 2)

Nach den Erkenntnissen aus AP 1 wird die geeignete detaillierte Messstrategie durch die Abstimmung mit dem Auftraggeber.

In Bezug auf eine kontinuierliche Messung wichtiger Parameter (Radon-Aktivitätskonzentration in der Raumluft, Luftwechsel mit Tracer-gas, Klima) sollte auch die Messung und Aufzeichnung des Dif-

ferenzdrucks eine wichtige Rolle spielen. Aus Voruntersuchungen und Erkenntnissen der Literaturrecherche ist deutlich geworden, dass die Radon-Eintrittsrate über den konvektiven Eintrag von Bodengas und auch die Radon-Aktivitätskonzentration in der Raumluft sehr empfindlich auf minimale Druckdifferenzen von wenigen Pascal reagiert. Somit ist zu erwarten, dass sich auch die für den Luftwechsel verantwortlichen Faktoren und Kräfte (Nutzerverhalten, Lüftungstechniken, Heizung, Klima) auf die Druckdifferenzen zwischen Bodenluft und Innenraum auswirken. Zudem kann auch der Druckausgleich zwischen der Bodenluft und der Atmosphäre bei deutlichen meteorologischen Luftdruckschwankungen eine wichtige Rolle spielen. Es wird angenommen, dass ein relevanter Radoneintritt durch den Volumenstrom von Bodenluft in das Gebäude zum Druckausgleich generiert werden kann.

2.3 AUSWAHL VON GEBÄUDEN UND DURCHFÜHRUNG DER MESSUNGEN (AP 3)

Die Auswahl geeigneter Objekte erfolgt auf Grundlage der Erkenntnisse aus Arbeitspaket 1 sowie der Messstrategie aus Arbeitspaket 2. Als Objekte (mindestens ≥ 3) kommen unterkellerte zweietagige Einfamilienhäuser oder nichtunterkellerte zweietagige Einfamilienhäuser mit durchgehender Grundplatte aus Beton und zwei Folgegeschossen zwischen Baujahr 1975 und 2010 in Frage. Mit dem Zeitraum kann gewährleistet werden, dass die Gebäude bereits mit Betonplatten konstruiert worden sind und keine extremen Undichtigkeiten zum Baugrund aufweisen. Für die Untersuchung soll deshalb auch ein Raum mit messbarem Radoneintritt aus dem Boden ausgewählt werden. Weiterhin ist zu erwarten, dass bereits Maßnahmen zur Minimierung von Lüftungswärmeverlusten umgesetzt sind. Außerdem müssen die Gebäude in Gebieten mit erhöhtem Radonpotential liegen (RP min. > 30). Die Radon-Aktivitätskonzentrationen sollen im Bereich des Jahresmittelwertes von 150 Bq/m^3 - 500 Bq/m^3 liegen. Es soll je Objekt mindestens ein Raum mit begrenztem konvektiven Radoneintritt aus dem Baugrund untersucht werden. Der Zwischenbericht zu Arbeitspaket 3 mit Vorstellung der Objekte ist für Ende März 2022 geplant.

2.4 AUSWERTUNG DER ZEITREIHEN, BESTIMMUNG VON RADONEINTRITTSRATE UND LUFTWECHSEL (AP 4)

Mit diesem Arbeitspaket erfolgen sowohl die Analyse der Radonkonzentrationen im Zusammenhang mit den ausgewählten Wetterparametern (ggf. unter Berücksichtigung der Innenraumtemperatur) als auch die Analyse der/des weiteren Parameter/s der Innenraumluft bzw. der Tracergasmessungen im Zusammenhang mit ausgewählten Wetterparametern und dem Nutzerverhalten. Des Weiteren werden Radoneintrittsrate und Luftwechsel unter Berücksichtigung der Einflüsse ausgewählter Wetterparameter und Nutzeraktionen bestimmt und festgestellte Abhängigkeiten quantitativ untersucht. Außerdem erfolgt die Auswertung des Nutzerverhaltens auf den Jahresmittelwert der Radonkonzentration (wiederkehrendes Verhalten, typisches Verhalten bei bestimmten Wettersituationen, singuläre Ereignisse wie z. B. Urlaub, möglichst quantitativ).

2.5 ZUSAMMENFASSENDE AUSWERTUNG UND MODELLENTWICKLUNG (AP 5)

Auf Basis der Ergebnisse aus vorherigen Arbeitspaketen ist darzustellen, wie die Jahresmittelwerte von Radoneintrittsrate und Luftwechsel unter Berücksichtigung der ausgewählten Parameter geschätzt werden können.

3. METHODIK UND

4. DURCHFÜHRUNG

Die Planung der Messstrategie und die Durchführung sollen nach den Arbeitspaketen 2 und 3 in Abstimmung mit dem Auftraggeber konkretisiert werden. Grundsätzlich sind die Untersuchungen in den Gebäuden in drei Stufen geplant.

4.1 STUFE 1 - BESTANDSAUFNAHME UND ERSTMESSUNGEN

Bei der Erstmessung soll eine umfassende Bestandsaufnahme des Gebäudes durchgeführt werden. Im Mittelpunkt stehen hierbei Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration in der Raumluft im definierten Unterdruck (50 Pascal) nach der erweiterten Blower-Door-Methode (Rn50-Test) bis zur Gleichgewichtskonzentration. Weiterhin erfolgen die Bestimmung der Radon-Eintrittsrate sowie die Lokalisierung und Quantifizierung von Radon-Eintrittsstellen durch Radon-Sniffing im Unterdruck. Weiterhin soll der Rn50-Wert gemessen und der Infiltrationsluftwechsel nach DIN EN ISO 9972 bestimmt werden. Darüber hinaus soll eine Berechnung der Leckagefläche der Gebäudehülle zur Atmosphäre erfolgen. Zusätzlich sind Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration in der Bodenluft inkl. Permeabilitätsmessungen und Bestimmungen der Radonpotentials (RP) je Standort geplant. Nach der Erstmessung startet das erste Messintervall der saisonalen Messungen.

4.2 STUFE 2 - SAISONALE MESSUNGEN

Es ist geplant, die saisonalen Messungen in jedem Objekt mindestens einmal pro Jahreszeit über ein bis zwei Wochen durchzuführen. Es sollen hierbei zeitauflösende Messungen von Differenzdruck, Luftdruck, Innen- und Außenklima, Radon-Aktivitätskonzentration in der Raumluft nach DIN EN ISO 11665-5 und an erkannten Eintrittsstellen (Radon-Sniffing) durchgeführt werden. Weiterhin soll der Luftwechsel mit Tracergas nach der Konzentrations-Abklingmethode mit den Tracergasen CO₂ und SF₆ sowie Dimethylether (DME) nach DIN EN ISO 12569 bestimmt werden und mit den Ergebnissen aus der Luftwechselbestimmung über die Leckagefläche (Ergebnis aus Stufe 1) und dem gemessenen Differenzdruck verglichen werden.

4.3 STUFE 3 - LANGZEITMESSUNGEN

Die Langzeitmessungen sollen in jedem Objekt über mindestens zwölf Monate durchgeführt werden. Es sollen hierbei zeitauflösende Messungen von Differenzdruck, Luftdruck, Innen- und Außenklima, Radon-Aktivitätskonzentration in der Raumluft während der normalen Nutzung durchgeführt werden. Zusätzlich sollen integrierende Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration in der Raumluft nach DIN EN ISO 11665-4 durchgeführt werden. Weiterhin soll der Luftwechsel mit dem Tracergas CO₂ nach der Konzentrations-Abklingmethode und der Konstant-Injektionsmethode jeweils abhängig von der Raumnutzung (Quellstärke Mensch) nach DIN EN ISO 12569 bestimmt werden und mit den Ergebnissen aus der Luftwechselbestimmung über die Leckagefläche (Ergebnisse aus Stufen 1 und 3) und dem gemessenen Differenzdruck verglichen werden.

5. ERGEBNISSE

Ergebnisse liegen bisher nur zu Arbeitspaket 1 vor.

Es kann festgestellt werden, dass sich bereits eine Vielzahl von Autoren seit Ende der 1980er Jahre mit dem Thema Radon in Innenräumen und auch insbesondere mit den Ursachen und dem Mechanismus des Radoneintrags in Innenräume beschäftigen. Als zentrale und treibende Kraft, mit welcher das Radon in die Innenräume gelangt, wird bereits vielfach die Druckdifferenz in Gebäuden durch Winddruck und Temperaturdifferenz genannt. Im konkreten Zusammenhang mit der Radonkonzentration im Innenraum und der Radon-Eintrittsrate wurden 41 Publikationen als besonders relevant herausgestellt. Es werden in den meisten Fällen einzelne Wetterparameter (Temperatur, Wind, Druck) im Zusammenhang mit der Radon-Raumluftkonzentration, der Radoneintrittsrate und der Luftwechselzahl untersucht und anhand von Beispielobjekten dokumentiert. Zudem wurden 19 Publikationen vorgestellt, welche sich mit dem Luftwechsel in Gebäuden, der Bestimmung der Luftwechselzahl in Gebäuden und der Bestimmung der Druckdifferenzen im Zusammenhang mit Schadstoffbelastungen beschäftigen.

Der für das Forschungsvorhaben relevante Stand der Technik in Bezug auf Normen, Richtlinien und Regelwerke zu den beschriebenen Verfahren und Methoden wird in neun Literaturstellen abgebildet.

Zur Verifikation der geplanten Vorgehensweise werden die Eigenschaften und Anforderungen an die einzusetzende Messtechnik und Methoden genauer spezifiziert. Bei der Messung der Radon-Aktivitätskonzentration in der Raumluft stehen z. B. geeignete zeitauflösende Messgeräte mit Ionisationskammer-Detektoren zur Verfügung.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Zu den Arbeitspaketen 2 und 3 läuft neben der genaueren Planung der Messstrategie und der Durchführung auch die Objektsuche. Die Eigenschaften und Qualitäten der eingesetzten Messtechnik und der Objekte bestimmen auch maßgeblich über die Qualität der messtechnisch erfassbaren Daten und deren Aussagekraft. Hierzu finden Voruntersuchungen und Gerätevergleiche auf der messtechnischen Seite statt. Eine besondere Aufmerksamkeit erfordert die kontinuierliche Aufzeichnung des Differenzdruckes. Hierzu bieten Hersteller bereits erfolgversprechende Lösungen mit kontinuierlichen Daten-Fernübertragungen (WLAN, Mobilfunk) an.

3.2 Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

3.2 *Subject area 02*
Radiation protection techniques

Thema

Aufbau und Charakterisierung eines Referenzfeldes zur Sicherstellung des Strahlenschutzes an Beschleunigeranlagen in Medizin und Forschung und zur Prüfung und Kalibrierung entsprechender Messgeräte

Subject

Establishing a reference field for radiation protection in medical and research applications and calibration of measurement devices

Kennzeichen 3619S22364	Beginn 01.01.2020	Ende 30.09.2022	Fördermittel EUR 392.375,-
----------------------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Forschungs- / Auftragnehmer
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig

Projektleitung Dr. H. Zutz	Fachbetreuung BfS R. Schnell / UR 5	verantwortlich für den Text Dr. H. Zutz, Dr. O. Hupe, Dr. J. Busse
--------------------------------------	---	---

1. ZIELSETZUNG

Das BMUV verfolgt das Ziel der Aufrechterhaltung, kontinuierlichen Verbesserung und permanenten Anpassung des Strahlenschutzes in Deutschland an den jeweils aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Dem BMUV obliegt überdies die Bundesaufsicht nach Art. 85 GG über den Vollzug des Strahlenschutzrechts durch die Länder. In diesem Rahmen ergibt sich die Notwendigkeit, für moderne Beschleunigeranlagen und deren zunehmenden Einsatz in Wissenschaft, Technik und Medizin einen adäquaten Strahlenschutz zu gewährleisten, der den gesetzlichen und normativen Anforderungen der Personendosimetrie in Deutschland entspricht. Dosimetrische Messungen an diesen Anlagen erfolgen momentan mit Ortsdosimetern, deren Eignung für diese hochenergetischen und gepulsten Strahlungsfelder nicht nach dem Stand von Wissenschaft und Technik geprüft werden kann, da entsprechende Referenzfelder fehlen. Daher ist der Aufbau von Referenzstrahlungsfeldern notwendig, welche Messungen rückführbar auf die nationalen Normale ermöglichen und Tests für die Entwicklung und Überprüfung von Dosimetern erlauben.

2. EINZELZIELSETZUNG

Ein an der PTB in Braunschweig im Aufbau befindliches Referenzstrahlungsfeld wird es ermöglichen, die Funktionsweise von Orts- und Personendosimetern in gepulsten Strahlungsfeldern mit hohen Energien (über 7 MeV) systematisch zu überprüfen. Nach vollständiger Charakterisierung des Referenzfeldes können Tests für die Entwicklung und die Baumusterprüfung von Strahlenschutzdosimetern rückführbar auf die nationalen Primärnormale durchgeführt werden.

Ziel des Vorhabens ist es, mit einer kosteneffektiven Methode ein validiertes, rückgeführtes, beschleunigerbasiertes, hochenergetisches und gepulstes Referenzstrahlungsfeld zu entwickeln.

2.1 REFERENZFELDQUELLE

An der PTB vorhandene, kommerzielle, medizinische Linearbeschleuniger werden genutzt, um Strahlungsfelder mit Photonenenergien bis zu 20 MeV zu erzeugen. Daneben steht der Forschungsbeschleuniger der PTB zur Verfügung, welcher im Vergleich zu den medizinischen Beschleunigern erweiterte Parameterbereiche (Energie, Pulsstruktur, Dosisleistung) bietet.

2.2 REFERENZFELD UND CHARAKTERISIERUNG

Hinter einer Abschirmung aus Beton, die z. B. den Bedingungen an realen Beschleunigeranlagen im Bereich schwacher Abschirmungen entspricht, werden die auftretende Strahlungsdosis und Energieverteilung sowohl mit empfindlichen Dosismessgeräten als auch mit computergestützten Rechenverfahren

ren (Monte-Carlo-Simulationen) untersucht. Nach Abschluss der Charakterisierung wird die Rückführbarkeit auf nationale Normale langfristig mit Monitoringsystemen sichergestellt.

2.3 MOBILITÄT / FLEXIBILITÄT

Da das Referenzfeld an den vorhandenen Beschleunigeranlagen der PTB realisiert wird, müssen die dafür notwendigen Modifikationen sehr flexibel und schnell auf- und abbaubar sein. Der Aufbau soll zusätzlich eine Variation von Abstand und/oder Abschirmdicke ermöglichen.

3. METHODIK

Mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen werden für verschiedene Aufbau-Geometrien die Teilchenflussdichten und spektralen Verläufe berechnet. Dabei werden der Ortsdosisleistungsverlauf und die spektrale Zusammensetzung der einzelnen Strahlungskomponenten (Photonen, Elektronen und Neutronen) ermittelt. Die Simulationen werden mit Messungen, die mit dosimetrischen und spektrometrischen Messsystemen durchgeführt werden, verglichen.

3.1 MONTE-CARLO-SIMULATIONEN

Mit Hilfe einer einfachen Geometrie, welche sich noch nicht auf einen speziellen Messaufbau bezieht, geschieht eine erste Evaluierung von verschiedenen Monte-Carlo-Programmen. Nach Auswahl eines Programms werden Photon-, Elektron- und Neutronenspektren sowie Winkelverteilungen und Dosisleistungsverläufe in verschiedenen Geometrien simuliert. Die Monte-Carlo-Simulationen erfolgen mindestens im Elektronenstrahlenenergiebereich bis 20 MeV.

3.2 MESSUNGEN

An den Aufbauorten des Referenzfeldes werden, soweit erforderlich, durch getrennte Messungen für die Komponenten (Photonen, Elektronen, Neutronen) des Strahlungsfeldes Dosisleistung und spektrale Verteilung bestimmt. Die verwendeten Methoden ermöglichen eine Rückführung auf die nationalen Normale der PTB zum Beispiel durch Verwendung von Sekundärnormalen zur Messung der Umgebungs-Äquivalentdosis.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 MONTE-CARLO-SIMULATIONEN

Zunächst wurden mehrere Monte-Carlo-Simulationsprogramme (GEANT4, MCNP, EGSnrc) auf ihre Eignung untersucht. Nach der Auswahl von GEANT4 und ergänzend MCNP wurden erste Simulationen mit einfachen Geometrien durchgeführt, einschließlich der Untersuchung der Auswirkung von Abschirmungen auf die spektrale Verteilung des einfallenden Strahlungsfeldes. Später wurden diese Geometrien mit Details gemäß der realen Beschleunigerraumgeometrie der PTB ergänzt.

4.2 MESSUNGEN

Mit Hilfe eines Wenigkanalspektrometers [Behrens¹⁾] wurde das Photonenspektrum eines Referenzfeldes bei zwei Feldgrößen bestimmt. Mit einem Bonner-Kugel-Spektrometer wurden mögliche Kontaminationen mit Neutronen in diesen Feldern untersucht. Mit Hilfe einer H*(10)-Sekundärnormal-Kammer (modifizierte HS01 von Austrian Research Centers Seibersdorf [Ankerhold²⁾]) wurden orts- und feldgrößenabhängige Dosisleistungen aufgezeichnet. Insgesamt wurden bereits Messungen von Ortsdosisleistungen an vier Messorten durchgeführt, welches auch Messungen hinter einer variablen Abschirmung umfasst.

¹⁾ JINST P03027, 2009

²⁾ Rad. Prot. Dosim., **118**,1,16–21, 2006

5. ERGEBNISSE

Ein erster Aufbauort für ein Referenzfeld mit Dosisleistungen bis $0,2 \text{ mSv h}^{-1}$ ist identifiziert. Dabei handelt es sich um einen Bestrahlraum einer anderen Beschleunigeranlage, welcher durch eine 2,0 m dicke Wand aus Normalbeton von einem medizinischen Beschleuniger getrennt ist. Der Strahlungskegel des medizinischen Beschleunigers vom Typ Elekta Precise Treatment System kann durch Rotation der Gantry auf 90° direkt und in senkrechtem Einfall auf die Trennwand gerichtet werden. Der Quellabstand zur Wand beträgt 3,0 m, so dass sich auf der Rückseite ein Mindestabstand von 5,0 m zur Quelle ergibt.

Die Messungen mit dem Wenigkanalspektrometer zeigen das erste wichtige Ergebnis: Die spektrale Energieverteilung ändert sich hinter der Wand im Vergleich zum Isozentrum des Beschleunigers kaum. Dies ist für den Aufbau des Referenzfeldes eine wichtige Erkenntnis.

Für höhere Dosisleistungen muss ein weiterer Messaufbau in einem der Beschleunigerräume errichtet werden. Erste entsprechende Experimente wurden mit einer variablen Anzahl von Abschirmblöcken an den beiden medizinischen Beschleunigern der PTB durchgeführt. Da sich ein solcher Aufbau im gleichen Raum wie der Beschleuniger befindet, muss der Einfluss von direkter Streustrahlung vom Beschleuniger am Messort dezidiert untersucht werden. Erste Ergebnisse aus Messungen zeigen, dass eine seitliche Abschirmung notwendig ist, um den Streustrahlungsanteil vom Beschleuniger hinreichend abzuschirmen. Eine entsprechende Geometrie für höhere Ortsdosisleistungen wurde entworfen sowie deren Abschirmwirkung und Streueigenschaften mittels Monte-Carlo-Simulationen untersucht.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Untersuchungen am ersten vorhandenen Aufbauort für ein Referenzfeld sowie die Instrumentierung für ein Monitorsystem und eine reproduzierbare Prüflingsplatzierung sind fertigzustellen. Für einen mobilen Aufbau an einem der Beschleuniger sind weitere Simulationen und Messungen mit verschiedenen Aufbauten erforderlich. Zusätzlich sollen Messungen am Forschungsbeschleuniger durchgeführt werden, um zu prüfen, ob dieser Messplatz (besser) geeignet ist - insbesondere den Einfluss der Streustrahlung betreffend. Hier ist der Beschleuniger in einem gesonderten Raum und es kann erwartet werden, dass der Einfluss von Streustrahlung deutlicher geringer ist.

Thema

Analyse von Urankonzentraten aus Deutschland mit bekannter Herkunft: Unterstützung der Nuklearen Forensik in Deutschland

Subject

Analysis of German uranium concentrates of documented origin: Supporting nuclear forensics in Germany

Kennzeichen

3621R01611

Beginn

01.04.2021

Ende

30.09.2022

Fördermittel

EUR 99.856,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Wismut GmbH, Chemnitz

Projektleitung

F. Dullies

Fachbetreuung BfS

Dr. J.T. Eisheh / RN 7

verantwortlich für den Text

F. Dullies

TB02

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens ist die Charakterisierung einer repräsentativen Auswahl historisch in Deutschland erzeugter Uranerzkonzentrate (UOC) und des aus der Sanierung erzeugten Urankonzentrats für die Nukleare Forensik („Erzeugung eines Fingerabdrucks“). Die Daten sollen anschließend mit den Parametern anderer Erzeuger verglichen werden, um eine Aussage über die Identifizierbarkeit der in Deutschland hergestellten Produkte zu liefern.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Berichtsjahr 2021 wurden die folgenden Arbeitspakete (AP) vollständig abgearbeitet.

2.1 BESTANDSAUFNAHME (AP 1)

Die Bestandsaufnahme hatte zum Ziel, die Zusammenhänge der ausgewählten Natururanprodukte Uranerze aus Lagerstätten mit einer Urangewinnung größer als 1 000 t (U3O8), Zwischenprodukte der Uranerzaufbereitung sowie Rückstände und Immobilisate der Wasserbehandlung hinsichtlich der Lagerstättentypen, Gewinnungs-, Aufbereitungs- und Behandlungsverfahren zu beschreiben.

Weiterhin sind historische Daten für die Urankonzentrate aus Königstein, den Rückständen und Immobilisaten der Wasserbehandlung sowie den Tailings der Uranerzaufbereitung bereitgestellt worden.

2.2 FESTLEGUNG DER UNTERSUCHUNGSSTRATEGIE (AP 2)

Die Untersuchungsstrategie ist die Voraussetzung für die Abfolge der Bearbeitung der einzelnen AP, um die Zielsetzungen zu erreichen. Mit dem Auftraggeber wurde ein Versuchsprogramm abgestimmt, in dem die organisatorische Abfolge der geplanten Arbeiten und die zeitliche Realisierung der einzelnen AP definiert wurden.

2.3 AUSWAHL DEUTSCHER PROBEN (AP 3A)

Die Auswahl der deutschen Proben erfolgte nach der Verfügbarkeit und dem zukünftigen Verfügungspotential großer Mengen von uranhaltigen Stoffen. Es wurden insgesamt 70 Proben charakteristischer Natururanprodukte innerhalb von fünf Stoffgruppen ausgewählt:

- **27 Uranerze** aus Sachsen und Thüringen, 2 Erzproben aus Bayern und eine aus Baden-Württemberg,
- **10 Zwischenprodukte** der Uranerzaufbereitung,
- **3 historische Urankonzentrate** (Yellow Cake) sowie 4 Prozessproben der Uranproduktion am Standort Königstein,

- **6 Tailings** der Uranerzaufbereitung sowie
- **17 Rückstände** und Immobilisate der Wasserbehandlungsanlagen (WBA) der Wismut GmbH.

2.4 BESCHAFFUNG AUSLÄNDISCHER PROBEN (AP 3B)

Eine Beschaffung ausländischer Urankonzentratproben war organisatorisch leider nicht möglich. In Rücksprache mit dem Auftraggeber wurden Uranerzproben aus den USA, Australien, Tschechien sowie Monazitsandproben aus Madagaskar und Australien beschafft.

2.5 METHODENAUSWAHL UND VALIDIERUNG (AP 4)

Bei der Auswahl der Methoden wurden die Erfahrungen der drei Labore der Wismut GmbH herangezogen, die jährlich ca. 25 000 Proben für die Prozesskontrolle der Wasserbehandlungsanlagen sowie für die Umweltüberwachung bearbeiten. Die Wismut-Labore besitzen für diese Analyseverfahren eine Akkreditierung. An den oben genannten Proben werden:

- Elementanalysen von 55 Parametern mit der Massenspektrometrie mittels induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS),
- Nuklidanalysen der Zerfallsreihen von Uran-238, Uran-235 und Thorium-232 mittels Gammaskpektrometrie sowie
- Matrixparameter: Totaler organischer Kohlenstoff (TOC), Totaler anorganischer Kohlenstoff (TIC), Gesamtschwefel, Sulfid-Schwefel, Chloride und die Bestimmung des Glühverlustes durchgeführt.

3. METHODIK

Alle Proben wurden vor der Analyse getrocknet, zerkleinert und homogenisiert. Es wurde für die Elementanalysen und die Gammaskpektrometrie keine Probenteilung vorgenommen, sondern aus der gleichen Grundgesamtheit heraus analysiert. Der Analysendurchlauf startete mit der Gammaskpektrometrie. Für die Elementanalysen sowie die Bestimmung der Matrixparameter wurden spezifische Aufschlüsse hergestellt.

4. DURCHFÜHRUNG

Für die Bestandsaufnahme wurden umfangreiche Recherchen im Archiv, in der Chronik der Wismut GmbH und Befragungen von Zeitzeugen durchgeführt. Alle Analysedaten stammen aus der Wismut-Datenbank AL.VIS-W und wurden für die Auswertung in das Excel-Format übertragen.

Die Beschaffung der Proben erfolgte aus der Lagerstättensammlung der Wismut GmbH, der Mineralogischen Sammlung der TU Bergakademie Freiberg, den Archiven der Labore der Wismut GmbH in Form von Referenz- und Rückstellproben von Urankonzentraten, Zwischenprodukten der Uranerzaufbereitung, Tailingsproben aus der bodenmechanischen Untersuchung der industriellen Absetzanlagen, Rückständen und Immobilisaten der Wasserbehandlung sowie ausländischen Proben durch die Nutzung beruflicher Kontakte.

Die Proben wurden vor der Verarbeitung zur Analyse mit Normal- und UV-Licht fotografiert und die Ortsdosisleistung (aufgelegt am Detektor der Szintillatorsonde am Automess 6150AD6) bestimmt.

5. ERGEBNISSE

Für die bereits abgearbeiteten Arbeitspakete wurde ein 48 Seiten umfassender Bericht erstellt und im Juli 2021 an das BfS übergeben.

Im August 2021 wurde mit der Vorbereitung der Proben zur Analyse begonnen und zum Jahresende 2021 abgeschlossen. Zeitgleich erfolgte fortlaufend die Durchführung der Analysen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Analysen sind zu 90 % abgeschlossen und werden im Februar 2022 durch das Labor validiert. Die statistische Auswertung der Analysendaten erfolgt im März 2022. Die Teilleistung der Altersbestimmung und die Erarbeitung des Abschlussberichtes beginnen im März.

TB02

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

Validierung genetischer Loci, die das Lungenkrebsrisiko in Abhängigkeit von der Radonexposition beeinflussen - Qualitätssicherung und Auswertung

Subject

Validation of genetic loci that modify the risk of lung cancer interacting with radon exposure - quality assurance and evaluation

Kennzeichen

3620S32271

Beginn

01.10.2020

Ende

28.02.2023

Fördermittel

EUR 156.668,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Universitätsmedizin Göttingen, Institut für Genetische Epidemiologie

Projektleitung

Prof. Dr. H. Bickeböller

Fachbetreuung BfS

Dr. M. Gomolka / WR 1

verantwortlich für den Text

Dr. A. Rosenberger

1. ZIELSETZUNG

Lungenkrebs ist weltweit ein großes Thema des Gesundheitswesens. Lungenkrebs kann durch das Inhalieren von Tabakrauch oder Feinstaub, aber auch durch ionisierende Strahlung infolge der Inhalation von Radon und Radonfolgeprodukten ausgelöst werden. Ein erhöhtes, durch Strahlung induziertes Lungenkrebsrisiko konnte durch mehrere Studien zur Radon-Exposition in Wohnräumen unter Uranbergarbeitern belegt werden.

In Vorgängerprojekten des BfS (3614S10013, 3614S10014 und 3615S32253) konnten genetische Varianten, die im Zusammenhang mit Strahlung zu einem erhöhten Lungenkrebsrisiko beitragen können, identifiziert werden (Rosenberger et al. Int Arch Occup Environ Health. 2018).

Zielsetzung des Projektes 3620S32271 ist die Validierung der Ergebnisse der Vorgängerprojekte und ggf. von Ergebnissen anderer Studien zu Radon-Gen-Interaktionen in einer unabhängigen Stichprobe mit alternativen Typisierungsmethoden (PCR-Amplifikation und Sequenzierung). Die zur Verfügung stehenden Proben entstammen dem Pathologiearchiv der SAG/SDAG WISMUT und werden im Projekt 3621S32220 typisiert.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zum Erreichen des Projektziels sind folgende Leistungen, bezeichnet als Arbeitspakete, vorgesehen:

- Konzeption eines Analyseplans unter Berücksichtigung des relevanten Stands von Wissenschaft und Technik (AP 1)
- Qualitätssicherung der SNP-Typisierung aus Projekt 3621S32220 (AP 2)
- Statistische Analyse mittels der im AP 1 beschriebenen Modelle unter Berücksichtigung von Strahlenexposition, Tumorsubtyp und anderen das Lungenkrebsrisiko modifizierenden Faktoren (AP 3)

3. METHODIK

Im bisherigen Projektzeitraum wurde AP 1 „Konzeption eines Analyseplans unter Berücksichtigung des relevanten Stands von Wissenschaft und Technik“ vollständig abgeschlossen.

Dieses bestand aus:

3.1 AUSWAHL DER ZU TYPISIERENDEN GENOMISCHEN MARKER

Kriterien zur Auswahl und Priorisierung von Genen und Markern wurden festgelegt, die Assoziation/Interaktion mit Lungenkrebs, Funktion und Expression der Gene beinhalten. Eine umfangreiche **Literaturrecherche** zu Untersuchungen zu Lungenkrebs und natürlicher Radonexposition wurde durchgeführt und durch Zitatnachverfolgung ergänzt.

3.2 AUSWAHL GEEIGNETER KOHORTEN

Eine Übersicht von Kohorten und andere Studienpopulationen, die als potentielle Ergänzung für dieses Projekt geeignet wären, wurde zusammengestellt.

3.3 AUSWAHL GEEIGNETER STATISTISCHER MODELLE

Ebenso wurde damit begonnen, ein statistisches Modell der anstehenden Gen-Umwelt-Interaktion (GxE)-Analyse zu formulieren und entsprechende Fachliteratur zu sichten.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 KRITERIEN ZUR AUSWAHL UND PRIORISIERUNG VON GENE UND MARKERN

Es wurden nach drei Gruppen von Gene gesucht:

- **Gruppe A:**
Gene mit beobachteter (publizierter) Assoziation zu radon-induziertem Lungenkrebs, mit erklärbarer biologischer Funktion der Gene, mit Bezug zu Strahlung oder Strahlenbiologie (z. B. involviert in DNA-Reparatur) und exprimiert in Lungengewebe
- **Gruppe B:**
bekannte Marker in bekannten Lungenkrebsrisikogenen
- **Gruppe C:**
bei Lungenkrebs therapierelevante Gene

Eine Liste mit 115 Lungenkrebs-assoziierten Genen wurde aus Literaturrecherchen (*PubMed*) und verschiedenen Datenbanken zusammengestellt (*NHGRI-EBI Catalog of human genome-wide association studies*; Information zur Genexpression wurde der *dBGene* und dem *Human Protein Atlas* entnommen; Information zur Funktion der Gene wurde aus *dBGene* oder *Ensemble* extrahiert und eine Liste mit 756 DNA-Reparaturgenen wurde auf Basis der Liste *Human DNA repair genes* (University of Texas, MD Anderson Cancer Center) zusammengestellt. Das Ranking der Gene basiert auf folgendem Score (vereinfacht dargestellt):

$$\text{Score} = b_{\text{Genotyp}} b_{\text{Exposition}} * (w_1 b_1 * \text{Funktion} + w_2 b_2 * \text{Expression} + w_3 b_3 * \text{Assoziation})$$

Wobei w_1 - w_3 Gewichte der Bewertungskategorien darstellen ($\sum w_i = 1$), b_1 - b_3 Punktwerte einzelner Kriterien der Bewertungskategorien, $b_{\text{Exposition}}$ ein Multiplikator für Expositionsgruppe (Bergarbeiter, Innenraum-Radonbelastung, Umfeld-Radonbelastung) und b_{Genotyp} eine Multiplikator für den Genotyp ist.

Die Bewertungskategorie Assoziation unterteilt sich dabei in Assoziation zu a) LC, b) andere Krebsentitäten, c) anderen Phänotypen und d) p-Wert Interaktion in Vorgängerprojekt. Danach wurden bis zu drei Marker pro ausgewähltem Gen zur Typisierung bestimmt. Die Auswahl beruht dabei auf:

- der marker-spezifischen Signifikanz einer Radon x Gen-Interaktion aus dem Vorgängerprojekt,
- dem Kopplungsungleichgewicht zwischen den Markern ($r^2 < 0,5$),
- einer Allelhäufigkeit (minor allele frequency) im Bereich zwischen 30 % und 50 %.

4.2 AUSWAHL GEEIGNETER KOHORTEN

In *PubMed* wurden Fachpublikationen nach Studien zu Bergarbeitern (speziell Uranbergbau) gesucht, und Information zu den jeweiligen Kohorten extrahiert. Ferner wurde nach „*Cohort Profiles*“ - publi-

ziert im International Journal of Epidemiology oder BMC Open - mit Angaben wie „radon“ oder „uranium miner“ gesucht.

4.3 AUSWAHL GEEIGNETER STATISTISCHER MODELLE

Die einschlägige Fachliteratur wurde nach Möglichkeiten einer effizienten, statistischen Modellierung zur Evaluation von Gen-Umwelt-Interaktion (GxE) gesichtet. Von Interesse waren dabei der Vergleich von *case-control*- mit *case-only*-Ansätzen, da (wie für die geplante Untersuchung) keine Kontrollen zur Verfügung stehen werden.

4.4 EVALUIERUNG EINER TYPISIERUNGSMETHODIK IN FFPE MATERIAL

Darüber hinaus wurde die Expertise zur Typisierung der vorliegenden FFPE (Formalin-fixiertes Paraffin-eingebettetes Gewebe) Normal- und Tumorgewebeproben unter den Mitgliedern des International Lung Cancer Consortium (ILCCO) eingeholt. Die Methodik wurde in Zusammenarbeit mit der Fachbegleitung mit Dr. Trine B. Rounge (Janus Serum Bank in Oslo, Norwegen), Prof. Dr. Illig (Leiter der Biobank, Medizinische Hochschule Hannover) und Irene Orlow (Memorial Sloan Kettering Cancer Center, NY, USA) diskutiert.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUSWAHL UND PRIORISIERUNG VON GENE UND MARKERN

Die 10 topgereihten Gene anhand der Bewertungskategorien sind: FTO (score 0,48), UBE2U (0,47), CUBN (0,44), ST8SIA2 (0,35), SOX5 (0,35), TP53 (0,33), CD163L1 (0,32), CDKN2A (0,29), NAV2 (0,27), SIRT1 (0,24).

5.2 ZUSÄTZLICHE GEEIGNETE KOHORTEN

Bergarbeiterstudien

- Bergarbeiter einer chinesischen Uranmine (Soochow University, China)
- *US cohort study of uranium miners on the colorado plateau*

Innenraumradon- und andere Studien

- MSK strahlungsexponierte Mitarbeiter (Memorial Sloan Kettering Cancer Center)
- Galizien-Studien (University of Santiago de Compostela);
- Missouri und Iowa-Studien (University at Buffalo)

5.3 AUSWAHL GEEIGNETER STATISTISCHER MODELLE

Für die statistische Analyse im *Case-Only*-Design (als ohne Kontrollen) werden Modelle der Form:

$$\log \frac{p(E = 1 | G, D = 1)}{p(E = 0 | G, D = 1)} = \beta + \beta_{g\epsilon} G$$

an die Projektdaten angepasst, wobei anstelle Erkrankung D nun die Exposition E als Zielgröße herangezogen wird. Für die GxE-Interaktion lässt sich die Hypothese $\beta_{g\epsilon} = 0$ mit einem Freiheitsgrad (df=1) prüfen.

5.4 GENOTYPISIERUNG DER WISMUT-PROBEN

Die Ergebnisse sind in die Leistungsbeschreibung des Projektes 3621S32220 „Genotypisierung der Wismut-Proben“ eingegangen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Ergebnisse von AP 1 dienen als Grundlage für AP 2 und AP 3. Für die Weiterarbeit sind die Ergebnisse des Genotypisierungsprojekts 3621S32220 notwendig.

Thema			
Untersuchung biologischer Mechanismen strahlen-induzierter Herz-Kreislauf-Erkrankungen			
Subject			
<i>Monitoring biological mechanisms of radiation induced cardiac disease</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3621S32210	01.09.2021	31.08.2024	EUR 374.576,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der Angewandten Forschung e.V., München Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin (ITEM), Kardiovaskuläre Forschung			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. J. Fiedler	Dr. S. Moertl / WR 1	Dr. J. Fiedler, Dr. M. Otto	

1. ZIELSETZUNG

Neben Tumorerkrankungen sind Nicht-Krebserkrankungen, wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, immer mehr im Fokus der durch ionisierende Strahlung verursachten gesundheitlichen Schäden. Die entscheidenden Mechanismen wie Initiation und richtungsweisende, zur Erkrankung führende Ereignisse sind hierzu noch nicht bekannt. Es ist das Ziel des geplanten Projektes, grundlegende Erkenntnisse zur Rolle der Zellkommunikation bei der strahlen-induzierten Pathogenese von Herzerkrankungen zu liefern. Dieses Wissen zu grundlegenden Mechanismen und Strahlenreaktionen ist essentiell zur Risikoabschätzung für strahlen-induzierte Herzerkrankungen. Von besonderem Interesse sind dabei die Auswirkungen geringer Strahlendosen $\leq 0,5$ Gy.

Das Verständnis strahlen-induzierter kardiovaskulärer Schädigung soll in diesem Vorhaben anhand von humanen Endothelzellen und Fibroblasten untersucht werden. Die Aufgabenstellung gliedert sich in vier Arbeitspakete (**AP 1-4**). Dazu werden *in vitro* unterschiedliche Bestrahlungsdosen angewendet und anschließend auf funktionelle Veränderungen der Endothelzell- und Fibroblastenbiologie validiert. Für die ausgewählten Zelltypen stehen dabei experimentelle Assays im Vordergrund, die Vitalität und Proteomics-Muster beschreiben. Darüber hinaus wird die interzelluläre Kommunikation in Ko-Kulturen zwischen Endothelzellen und Fibroblasten untersucht. Mit den vorliegenden *in vitro*-Daten kann eine Risikobewertung für niedrigdosierte Strahlung im kardiovaskulären System erfolgen und die Nebenwirkungen einer klinischen Strahlentherapie besser dargestellt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Um die Wirkung von Zellkommunikationsprozessen in der Strahlenreaktion von typischen Zellen des Herzmuskels besser zu verstehen, sollen diese Prozesse in Zellkulturmodellen charakterisiert werden. Zunächst sind von Zellen freigesetzte Faktoren zu untersuchen, um Daten zu strahleninduzierten Änderungen in der Sekretom-Zusammensetzung zu erhalten. Weiterhin werden Sekretom-induzierte funktionelle Veränderungen auf Zellen verglichen. Dies soll sowohl durch Medium-Transfer als auch durch Ko-Kultivierung analysiert werden.

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

Das Arbeitspaket 1 (**AP 1**) wird den aktuellen Kenntnisstand der Aufgabenstellung zusammenfassen. Hierfür wird eine intensive Literaturrecherche durchgeführt, die mit der Beschreibung der klinischen Situation beginnt. Weiterführende Forschungsergebnisse mit Bezug zur Biologie von kardialen Zellen werden zusammengefasst und durch innovative *in silico*-Methodiken erweitert. Ergänzend dazu werden neuartige kardiale Modellsysteme vorgestellt, die eine patientennahe Betrachtung der Fragestellung ermöglichen. Molekulare Bewertungsmaßstäbe werden zudem als Werkzeug der kardiovaskulären Risikobewertung vorgestellt.

2.2 CHARAKTERISIERUNG VON STRAHLENINDUZIERTEN SEKRETOMVERÄNDERUNGEN (AP 2)

Die Auswirkung niedrigdosierter Strahlung im Bereich 50-500 mGy auf kardiovaskuläre Zellen *in vitro* ist unbekannt. Da das Herz ein multizellulärer Verband ist, erfolgt die Fokussierung auf humane Endothelzellen (HUVEC) und kardiale Fibroblasten (HCF) als Mediatoren niedrigdosierter Strahlung.

3. METHODIK

Das Forschungsvorhaben in **AP 2** umfasst einen experimentellen Ansatz *in vitro*. Als repräsentative Modellsysteme kardialer Biologie sind humane Endothelzellen und humane kardiale Fibroblasten ausgewählt.

3.1 ZELLKULTUR HUVEC UND HCF

Nach Bereitstellung der humanen Primärzellen werden diese *in vitro* expandiert. Dabei kommen Standard-Zellkulturbedingungen bei 37°C und 5 % CO₂ zum Einsatz. HUVEC als auch HCF-Zellen werden in früher Passage kryokonserviert. Nachfolgende experimentelle Assays werden mit drei verschiedenen Passagen durchgeführt, um die Varianz des biologischen Alterns in der Zellkultur abzubilden. Zellkulturüberstände wurden nach Zentrifugation (300 x g, 5 min, 4°C) gewonnen und bei -20°C gelagert.

3.2 PROTEOME PROFILER

Array-basierte Proteome Profiler Membranen (Proteome Profiler Human Cytokine Array Kit, ARY005B, R&D Systems) kommen zum Einsatz, um die simultane Detektion von 36 Zytokinen im Überstand von HUVEC und HCF-Zellen zu ermöglichen. Die Detektion von abundanten Zytokinen erfolgt über eine Chemilumineszenzreaktion.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 BESTRAHLUNG HUVEC UND HCF SOWIE CHARAKTERISIERUNG VON ZELLKULTURÜBERSTÄNDEN MITTELS PROTEOME PROFILER

Die Bestrahlung von HUVEC und HCF-Zellen erfolgt mit einer Gammacell 2000 (Molsgaard Chemical, Dänemark; Gerät in der Abteilung Medizinische Physik, Hr. Rüdiger Behrendt, Medizinische Hochschule Hannover). Die experimentelle Herangehensweise fokussiert sich zuerst auf die strahleninduzierte Sekretomveränderung in HUVEC und HCF. In einem ersten Screeningverfahren werden HUVEC und HCF nach 72 h Kultur in drei Gruppen und mittels Proteome Profiler (R&D Systems) auf Deregulation von 36 Zytokinen untersucht (**Tabelle 1**). Neben unbestrahlten Kontrollzellen werden die humanen Zellen mit 50 und 500 mGy bestrahlt. Der Überstand wird gewonnen und in drei biologischen Replikaten (R&D Systems) analysiert.

Tabelle 1: Übersicht *in vitro* Assays Screening AP 2

Zelltyp	Kontrolle	50 mGy	500 mGy
HUVEC 72 h, Proteome Profiler	3	3	3
HCF 72 h, Proteome Profiler	3	3	3
Summe	6	6	6

5. ERGEBNISSE

Erste Proteome Profiler wurden mit Überstand von unbestrahlten, sowie mit 50 mGy und 500 mGy bestrahlten HUVEC und HCF-Zellen durchgeführt, um zelltypspezifische Signaturen zu untersuchen.

5.1 ÜBERSICHT PROTEOME PROFILER MEMBRANEN



Abbildung 1: Übersicht Proteome Profiler Membran nach Inkubation mit Zellkulturüberstand aus HUVEC und HCF-Zellen. 36 verschiedene Zytokine werden parallel detektiert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Proteome Profiler Analytik wird für HUVEC und HCF-Zellen nach Bestrahlung im Vergleich zu unbehandelten Zellen komplettiert. Nachfolgende ELISA-basierte Validierung ausgewählter Zytokine wird das AP 2 beschließen und die Basis für die Auswahl von Bestrahlungskonditionen für den Fortlauf des Projektes legen.

3.4 Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

3.4 *Subject area 04*
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

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 3619S42261	Beginn 15.09.2019	Ende 28.02.2023	Fördermittel EUR 360.122,-
----------------------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Forschungs- / Auftragnehmer

Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), Abt. Epidemiologie von Krebserkrankungen, Heidelberg

Projektleitung

Dr. P. Seibold,
Prof. Dr. J. Chang-Claude
Prof. Dr. R. Kaaks

Fachbetreuung BfS

Dr. M. Gomolka / WR 1

verantwortlich für den Text

Dr. P. Seibold,
Prof. Dr. J. Chang-Claude

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Projekts ist die Fortsetzung der Erfassung von Spätfolgen nach einer Krebsbestrahlung bei einer internationalen Patientenkohorte sowie die Sammlung von weiteren Biomarkerproben.

2. EINZELZIELSETZUNG

Hintergrund: Das REQUITEplus-Projekt wird auf einer prospektiven multizentrischen Patientenkohorte aufgebaut, die im Rahmen des REQUITE-Projekts etabliert wurde (www.requite.eu, Seibold & Webb et al. Radioth Oncol 2019). Zwischen 2014 und 2016/2017 wurden 4 400 Brust-, Prostata- und Lungenkrebspatient*innen vor Strahlentherapie in acht Ländern in Europa und den USA rekrutiert. Die Bestrahlung erfolgte nach lokalen Regimen. Es wurden standardisiert epidemiologische, klinische, dosimetrische und Nebenwirkungsdaten zu verschiedenen Zeitpunkten erhoben und eine Biobank aufgebaut. Die Patient*innen wurden bis mindestens 2 Jahre nach Bestrahlung nachbeobachtet.

Da strahlentherapiebedingte Spätfolgen auch Jahre nach der Bestrahlung auftreten können, ist eine Nachbeobachtungszeit über zwei Jahre hinaus für klinische Fragestellungen wichtig. Außerdem ist eine ausreichend hohe Fallzahl notwendig, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen. Für einen Teil der REQUITE-Patientenkohorte wird die Verlängerung der Nachbeobachtungszeit durch eine anderweitige Förderung sichergestellt. Das REQUITEplus-Projekt ermöglicht die Fortsetzung der Nachbeobachtung in der restlichen Kohorte und somit die Etablierung einer großen Patientenkohorte mit standardisiert prospektiv erhobenen Daten zu Spätfolgen nach Strahlentherapie.

Das REQUITEplus-Projekt umfasst zwei Hauptziele:

2.1 ERHEBUNG VON LANGZEITNEBENWIRKUNGEN NACH STRAHLENTHERAPIE

Ziel des Projekts ist die Erfassung von Langzeitnebenwirkungen (inklusive Lebensqualität) mindestens 5 Jahre nach Bestrahlung in der restlichen REQUITE-Patientenkohorte. Die Verlängerung der Nachbeobachtungszeit ermöglicht somit eine vergleichbare Nachbeobachtungsdauer der gesamten Kohorte, die mit ihren „Real World“-Daten eine wertvolle Ressource für Forschungsarbeiten im Bereich Strahlenepidemiologie darstellt.

2.2 BIOPROBENSAMMLUNG FÜR BIOMARKERANALYSEN

Im Rahmen der vorherigen REQUITE-Studie wurden PAXgene-Proben vor Bestrahlung zur Gewinnung von RNA gesammelt. Um Genexpressionsmuster vor und nach Bestrahlung zu vergleichen, wird in ausgewählten Kliniken in Deutschland eine zweite PAXgene-Blutprobe entnommen, diesmal etwa 5 Jahre

nach Bestrahlung. Dies ermöglicht einen späteren Vergleich von Genexpressionsmustern vor und nach Bestrahlung, um potenzielle Strahlenempfindlichkeitsreaktionen anzuzeigen.

3. METHODIK

3.1 LANGZEITNEBENWIRKUNGEN NACH STRAHLENTHERAPIE

Es wurde geschätzt, dass insgesamt 1 250 Patient*innen an dem verlängerten Follow-up von mindestens 5 Jahren teilnehmen werden, was einer Teilnehmerate von 60 % entspricht.

Die jährliche standardisierte Datenerhebung umfasst Patientencharakteristika wie Begleiterkrankungen sowie Informationen zum Krankheitsverlauf. Es werden krebsartenspezifische Symptome wie Armlymphödem oder Harninkontinenz gemäß *Common Terminology Criteria for Adverse Events/CTCAE*-Kriterien durch medizinisches Fachpersonal erhoben sowie Patientenfragebögen (*Patient Reported Outcomes*, z. B. *European Organisation for Research and Treatment Breast Cancer Module/EORTC BR23* bei Brustkrebs, *Pelvic Symptoms Questionnaire* bei Prostatakrebs) inklusive Lebensqualität (EORTC QLQ C30) erfasst. In einzelnen Kliniken werden auch Informationen zu Fatigue (*Multidimensional Fatigue Inventory*, MFI) und körperlicher Aktivität (*Global Physical Activity Questionnaire*, GPAQ) mittels standardisierter Fragebögen erhoben. Sofern die Patient*innen ihre Einwilligung dazu gegeben haben, sollen die pseudonymisierten Studiendaten in Zukunft auch externen Forscher*innen auf Antrag für weiterführende wissenschaftliche Fragestellungen zugänglich gemacht werden.

3.2 PAXGENE-SAMMLUNG

In ausgewählten Kliniken in Deutschland soll von etwa 170 Patient*innen eine zweite PAXgene-Probe bei einer Nachsorgeuntersuchung etwa 5 Jahre nach Bestrahlung gesammelt werden. Die Proben werden bei -80°C zentral konserviert, um später daraus RNA für Genexpressionsanalysen zu extrahieren.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PROJEKTKOORDINATION

Die Etablierung großer Patientenkohorten mit standardisiert erhobenen Daten erfordert häufig internationale Kooperationen, wie auch bei diesem REQUITEplus-Projekt, das vom Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) in Heidelberg koordiniert wird. Mit den Projektbeteiligten erfolgt ein regelmäßiger Austausch über den aktuellen Stand per E-Mail-Korrespondenz und Telefon-/Videokonferenzen.

Folgende Institutionen sind aktiv an dem Projekt beteiligt: Ghent University Hospital, Gent (Belgien); Institut du Cancer de Montpellier (Frankreich); The Christie NHS Foundation Trust/University of Manchester, Manchester (Großbritannien); University of Leicester (Großbritannien); Maastricht University Medical Center (Niederlande). Am University Hospital Leuven (Belgien) gab es weiterhin pandemiebedingt administrative Verzögerungen, u. a. durch das Ethikvotum, das an die Ethikkommission Gent gekoppelt ist. Die Follow-up-Verlängerung ist jedoch für 2022 geplant. Bei der Icahn School of Medicine at Mount Sinai, New York (USA), wird durch die massiven Auswirkungen der Pandemie eine Follow-up-Verlängerung vermutlich nicht möglich sein.

Das Studienprotokoll, Fragebögen und Standardvorgehensweisen (SOPs) wurden an die verlängerte Nachbeobachtungszeit angepasst und von der Ethikkommission Heidelberg genehmigt. Die beteiligten Kliniken stellen sicher, dass ein gültiges lokales Ethikvotum zur Durchführung der verlängerten Nachbeobachtungszeit vorliegt.

4.2 ERFASSUNG VON LANGZEITNEBENWIRKUNGEN

Die bestehende Datenbankinfrastruktur an der University of Leicester wurde erweitert, um die Eingabe von Langzeit-Nachbeobachtungsdaten 5 und 6 Jahre nach Bestrahlung zu ermöglichen.

Das zentrale Datenmanagement erfolgt am DKFZ und umfasst u. a. folgende Aufgaben: Überprüfung der Dateneingaben, Qualitätskontrollen und Plausibilitätschecks, Ansprechpartner*innen für die inter-

nationalen Zentren, Bearbeitung von Daten-Rückfragen und Versenden von Erinnerungen an die Kliniken, Überprüfung von Datenkorrekturen, Erstellung von regelmäßigen Statusberichten (Dateneingabe, Qualitätskontrollen) sowie die Erstellung von bereinigten Datensets für Analysen.

4.3 BIOMARKERSAMMLUNG

Die Organisation der PAXgene-Probensammlung inklusive Versand und die zentrale Konservierung der Proben erfolgen ebenfalls durch das DKFZ.

5. ERGEBNISSE

Auf Grund der COVID-19-Pandemie kommt es weiterhin zu Verzögerungen im Klinikbetrieb. Die Nachsorgeuntersuchungen wurden teilweise ganz ausgesetzt oder konnten nur telefonisch durchgeführt werden und erschwerten außerdem eine Blutprobenabnahme, für die ein Vorort-Termin in der Klinik notwendig ist. Dadurch konnten Spätfolgen nur bei einem Teil der Patient*innen erfasst werden. Die langfristigen Auswirkungen der Pandemie (z. B. eine niedrigere Teilnehmerrate) können noch nicht umfassend abgeschätzt werden.

5.1 LANGZEITNEBENWIRKUNGEN NACH STRAHLENTHERAPIE

Informationen zu Spätfolgen bzw. Lebensqualität 5 und 6 Jahre nach Bestrahlung wurden bislang von etwa 650 Brust-, Prostata- und Lungenkrebspatient*innen in die zentrale Datenbank eingegeben. Daten von weiteren Patient*innen wurden erhoben und werden sukzessive in die Datenbank eingegeben.

5.2 PAXGENE-PROBEN

PAXgene-Proben nach Bestrahlung konnten bislang von 50 Patienten an deutschen Kliniken gesammelt werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die klinische Nachbeobachtung der Patient*innen wird mit COVID-19-bedingten Einschränkungen weitergeführt. Bereits erhobene Langzeit-Nachbeobachtungsdaten werden sukzessive in die zentrale Datenbank eingegeben.

Die Zielsetzung des Projekts kann mit Pandemie-bedingten Anpassungen trotz Verzögerungen weiterhin erreicht werden.

Realistisch geschätzt könnten Daten zu Langzeitfolgen von etwa 1 000 Patienten (anstelle von den geplanten 1 250) gesammelt werden. Bei der PAXgene-Sammlung wird geschätzt, dass maximal 40 % der geplanten Anzahl erreichen werden, da die Teilnahmerate der Patient*innen in Deutschland durch die Pandemie deutlich eingeschränkt ist.

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

31.09.2022

Fördermittel

EUR 279.798,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Klinische Radiologie, Münster

Projektleitung

R. Eßeling

Fachbetreuung BfS

Dr. H. de las Heras Gala / MB 3

verantwortlich für den Text

A. Sommer

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Projektes ist die Entwicklung multipler Qualitätssicherungskonzepte zur Bestimmung der Bildqualität an Tomosynthesegeräten (DBT) unterschiedlicher Hersteller. Ein besonderes Augenmerk soll hierbei auf den Einsatz von modellbasierten Analysen gelegt werden (Model Observer). Hierdurch sollen Aufwand und Subjektivität gegenüber visuellen Auswertungen reduziert werden. Die ermittelte Bildqualität wird direkt oder indirekt durch physikalische Surrogatparameter in Relation zur Strahlenexposition gesetzt (Dosiseffizienz). Als Maß für die Strahlenexposition wird hierbei eine standardisierte Messung der mittleren Parenchymdosis (AGD) verwendet.

2. EINZELZIELSETZUNG

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-Typen erprobt werden. Das Projekt unterteilt sich hierbei in zwei Arbeitspakete (AP).

3. METHODIK

Im AP 1 erfolgt die Ermittlung des Sachstands anhand von Literaturrecherchen sowie der Gegenüberstellung von Normen, Messvorschriften und Richtlinien. Weiter wird ein Vergleich von den auf dem Markt verfügbaren Prüfkörpern für DBT-Systeme durchgeführt. Auf Basis dieser Evaluierung erfolgt die Entwicklung von zwei Prüfkörpern. Des Weiteren werden die modellbasierten Analysen im Bereich der Qualitätssicherung anhand von Publikationen beurteilt (NPWE¹, Hotelling Observer, Channelized Hotelling Observer).

4. DURCHFÜHRUNG

Aufbauend auf AP 1 werden im AP 2 die beiden entwickelten Konzepte und Protokolle in der Praxis an DBT-Systemen verschiedener Hersteller erprobt und getestet. Im letzten Schritt sollen auf Basis dieser Auswertungen Mindestanforderungen für die Bildqualität im Kontext zur Strahlenexposition bestimmt werden.

¹⁾ non-prewhitening matched filter with an eye filter

5. ERGEBNISSE

5.1 ARBEITSPAKET 1

Das Arbeitspaket wurde am 31.08.2020 erfolgreich mit der Übergabe des ersten Zwischenberichtes abgeschlossen. Der Zwischenbericht wurde mit dem Bundesamt für Strahlenschutz am 13.10.2020 in einer Webkonferenz diskutiert.

5.2 ARBEITSPAKET 2

Aufbauend auf AP 1 werden im AP 2 die beiden entwickelten Konzepte und Protokolle in der Praxis an DBT-Systemen verschiedener Hersteller erprobt und getestet.

Prüfprotokoll 1

Das Prüfprotokoll 1 umfasst hierbei Messungen und die Erstellung von Aufnahmen an 5 unterschiedlichen Systemen von 5 verschiedenen Herstellern. Eingeschlossen wurden zwei Systeme der Firma Siemens (Revelation), zwei Systeme der Firma Hologic (3Dimensions), ein System der Firma Fuji (Amulet Inovility), ein System der Firma Giotto (Class 3D) und ein System der Firma GE (Pristina). An allen Systemen erfolgten folgende Messungen:

- Bestimmung der mittleren Parenchymdosis
- Bestimmung des Signaldifferenz-Rausch-Verhältnisses
- Bestimmung eines Kugelverwaschungsprofils
- Ermittlung der Kontrast-Detail-Erkennbarkeit (CDMAM) mit heterogenem Hintergrund
- Bestimmung der Modulationsübertragungsfunktion (MTF) in der Projektion.

Für die Bestimmung der Bildqualität wurden 3 unterschiedliche Phantome mit folgenden Messaufbauten verwendet:

- TORMAM mit zusätzlichem heterogenen Hintergrund (50 mm)
- TORMAM mit zusätzlichem heterogenen Hintergrund (70 mm)
- CIRS BR3D (50 mm)
- MAMMO-TOM (L2) mit variablem Hintergrund (46 mm).

Die Erstellung der Aufnahmen für die Prüfung der Bildqualität erfolgte bei 5 unterschiedlichen Dosisstufen (50 %; 75 %; 100 %; 125 %; 150 %). Dabei entspricht die 100 %-Dosisstufe den Parametern, die vom Hersteller für die entsprechende Prüfdicke konfiguriert wurden. Pro Dosisstufe wurden jeweils 2 Aufnahmen in 2D und 3D erstellt, wobei die rekonstruierte 2D-Aufnahme für die Auswertung zusätzlich berücksichtigt wurde. Zusätzlich wurden modifizierte CDMAM-Aufnahmen mit heterogenem Hintergrund angefertigt.

Prüfprotokoll 2

Im Prüfprotokoll 2 wurden Aufnahmen an 10 Systemen von zwei Herstellern (5 Siemens Revelation und 5 Hologic 3Dimensions) erstellt. Hierbei wurde ausschließlich das Phantom MAMMO-TOM (L2) verwendet. Insgesamt wurden 75 Tomosynteseaufnahmen pro System bei 3 unterschiedlichen Dosisstufen (50 %; 100 %; 150 %) angefertigt. Für jede Dosisstufe wurden 25 3D-Datensätze erstellt.

In beiden Prüfprotokollen kam es bei der Erstellung der Aufnahmen zu Abweichung bzgl. der Anzahl der erstellten Aufnahmen. Hierdurch kann die theoretische Anzahl der Aufnahmen von der Anzahl der erstellten Aufnahmen leicht abweichen.

Visuelle Auswertung

Die visuelle Auswertung erfolgte, mit Ausnahme der TORMAM Aufnahmen, randomisiert. Die Randomisierung wurde mittels eines speziell entwickelten Tools (DIANA Randomizer) durchgeführt. Die TORMAM-Aufnahmen konnten aufgrund der Objektanordnung und Objektlage nicht randomisiert werden. Für die Auswertung stellte der DIANA-Randomizer dem Auswerter jeweils vier randomisierte Bildausschnitte zu Verfügung: jeweils drei Ausschnitte ohne Struktur sowie ein Ausschnitt mit Struktur. Der Auswerter hatte zusätzlich zu den vier Bildausschnitten noch die Option zu dokumentieren, dass er kein Objekt erkennen konnte (4 AFC+1).

Aus Prüfprotokoll 1 wurden insgesamt 872 Aufnahmen ausgewertet. Für die Auswertung mittels Model-Observer standen insgesamt 772 Aufnahmen zu Verfügung.

Model-Observer

Für die Auswertungen mittels Model-Observer wurde ein Channelized Hotelling Observer-Algorithmus (CHO) mit anthropomorphen Gabor-Kanälen gewählt. Die Implementierung erfolgte in Matlab. Als Grundlage wurde eine Dissertationsarbeit über CHO-Implementierungen für das Phantom „L1“ (das Vorgängerphantom des MAMMO-TOM L2) von der KU Leuven (Belgien) genutzt. Die Analyse der L2-Aufnahmen durch den CHO erfolgt getrennt für Niedrigkontrastobjekte und Mikrokalkgruppen. Bei den Mikrokalkgruppen erfolgt zusätzlich als vorgelagerter Schritt eine automatische Lokalisierung der wahrscheinlichsten Positionen der einzelnen Kalkpunkte durch einen „effizienten“ CHO mit Laguerre-Gauss-Kanälen. Um die Ergebnisse des Model-Observers möglichst gut in Übereinstimmung mit denen der menschlichen Auswerter*innen zu bringen, werden drei Parameter der Gabor-Kanäle systematisch variiert. Die jeweils resultierenden 4-AFC-Ergebnisse des Model-Observers werden mit den Ergebnissen der visuellen Auswertungen verglichen, um den am besten geeigneten Kanalparametersatz zu finden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Akquirierung aller Prüfkörperaufnahmen (1 574) an allen System wurde abschlossen. Insgesamt wurden 17 Messungen an Mammographiegeräten für die Erstellung der Aufnahmen mit einbezogen. Weiter wurde die visuelle Auswertung der Aufnahmen vollständig durchgeführt. Alle erstellten Aufnahmen wurden jeweils von 6 Auswerter*innen betrachtet. Erste Zwischenergebnisse dieser visuellen Auswertung wurden am 11.11.2021 in einer Webkonferenz mit dem Bundesamt für Strahlenschutz diskutiert. Anschließend erfolgen die Aufbereitung und Zusammenstellung aller Datensätze sowie entsprechende Textarbeiten für den Abschlussbericht.

Hinsichtlich des Model-Observers wird aktuell auf Basis der nun vollständig vorliegenden visuellen Auswertungsergebnisse versucht, geeignete Kanalparameter für die verschiedenen Bilddatensätze zu finden. Hierbei soll insbesondere geprüft werden, ob Kanalparameter gefunden werden können, die gleichermaßen für verschiedene Geräte geeignet sind, um so zukünftig möglicherweise die Auswertung von L2-Aufnahmen teilweise oder vollständig automatisieren zu können.

Weiter ist für Anfang März ein Workshop geplant um die vorläufigen Ergebnisse mit verschiedenen Expert*innen zu diskutieren.

Thema

Erweiterte Erhebung der medizinischen Strahlenexposition in der NAKO-Gesundheitsstudie und Verknüpfung mit Sekundärdaten

Subject

Extended assessment of medical radiation exposure in the German National Cohort and linkage to secondary data

Kennzeichen
3620S42270

Beginn
01.01.2021

Ende
31.07.2023

Fördermittel
EUR 328.907,-

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
S. Gill
Prof. Dr. H. Zeeb

1. ZIELSETZUNG

Ionisierende Strahlung (IR) ist ein Karzinogen für eine Reihe von Krebserkrankungen. Im Niedrigdosisbereich ist insbesondere die medizinische Strahlenexposition eine der größten Strahlenquellen für die Allgemeinbevölkerung. Allerdings ist die Datenlage zu der medizinischen Strahlenexposition in der Allgemeinbevölkerung gering. Im Zeitraum 2017-2019 wurde bereits die medizinische Strahlenexposition bei einer Gruppe von Teilnehmenden der NAKO-Gesundheitsstudie erhoben.

In dieser Studie soll die bereits vorhandene Kohorte von 3 923 auf 7 500 Teilnehmende erweitert werden. Die medizinische Strahlenexposition wird innerhalb der NAKO-Gesundheitsstudie retrospektiv und prospektiv mittels eines Touchscreen-Fragebogens konsekutiv erhoben. Ferner werden die Selbstangaben der Studienteilnehmenden mit ihren Abrechnungsdaten der gesetzlichen Krankenversicherung (GKV) abgeglichen. Schließlich wird ein GKV-Daten-basiertes Follow-Up erprobt. Hier erhalten die Studienteilnehmenden einen Datenauszug ihrer bei der GKV abgerechneten Röntgenuntersuchungen. Sie überprüfen diese auf Vollständigkeit und ergänzen die jeweiligen medizinischen Indikationen soweit wie möglich.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt wird in 3 Arbeitspaketen (AP) bearbeitet:

- Vorbereitung der Datenerhebung und des Sekundärdatenabgleichs (AP 1),
- Retrospektive Erhebung bei neuen Studienteilnehmenden, Abgleich mit den verfügbaren Daten der gesetzlichen Krankenversicherung und Initiierung der Follow-Up-Erhebung (AP 2)
- Follow-Up-Erhebung, Fortführung des Abgleichs mit den verfügbaren Daten der gesetzlichen Krankenversicherungen, Erprobung der Machbarkeit eines GKV-Daten-basierten Follow-Ups und Auswertung (AP 3).

Das erste Arbeitspaket lief vom 01.01.2021 bis 31.03.2021 und umfasste die nachfolgend genannten Einzelziele:

2.1 VORBEREITUNG DER DATENERHEBUNG UND DES SEKUNDÄRDATENABGLEICHS (AP 1)

- Erstellung und Einreichung des Level-3-Antrags auf Durchführung der Studie beim Verein Nationale Kohorte e. V.
- Einholen und Integration notwendiger Inhalte zu GKV-Daten in den Level-3-Antrag
- Anpassung des im Vorgängerprojekt genutzten retrospektiven und prospektiven Fragebogens,

Abstimmung mit dem Integrationszentrum der NAKO (Heidelberg) und Implementierung im Touchscreen

- Adaptierung des Studienprotokolls, Bearbeitung der Ethik -und Datenschutzdokumente, Anpassung vorhandener Materialien.

2.2 RETROSPEKTIVE ERHEBUNG BEI NEUEN STUDIENTEILNEHMENDEN, ABGLEICH MIT DEN VERFÜGBAREN DATEN DER GESETZLICHEN KRANKENVERSICHERUNGEN UND INITIIERUNG DER FOLLOW-UP ERHEBUNG (AP 2)

Für das aktuelle Arbeitspaket (01.04.2021 – 30.09.2022) ist vorgesehen, mit der Rekrutierung von NAKO-Teilnehmenden für das Level-3-Projekt zu beginnen bzw. diese fortzuführen, den Abgleich mit den verfügbaren Daten der gesetzlichen Krankenversicherung (GKV) zu beginnen sowie die Follow-Up-Erhebung mittels der Touchscreen-Computer in den beteiligten NAKO-Studienzentren zu initiieren. Das AP 2 umfasst dabei die nachfolgend genannten Einzelziele:

- Fortführung bzw. Ersterfassung retrospektiver Daten bei neuen Studienteilnehmenden, Initiierung Follow-Up-Erhebung
- Antragstellung für das Bereitstellen der GKV-Daten der Studienteilnehmende bei der NAKO-Transferstelle (NAKO-TransferHub)
- Aufbereitung der GKV-Daten für die Basiskohorte, Umsetzung Abgleich GKV-Daten der Basiskohorte, Datensatzoptimierung
- Vorbereitungen des GKV-Daten-basierten Follow-Up, Ausarbeitung eines Anforderungskatalogs für zukünftiges Follow-Up mittels GKV-Daten.

2.3 FOLLOW-UP ERHEBUNG, FORTFÜHRUNG DES ABGLEICHS MIT DEN VERFÜGBAREN DATEN DER GESETZLICHEN KRANKENVERSICHERUNGEN, ERPROBUNG DER MACHBARKEIT EINES GKV-DATENBASIERTEN FOLLOW-UP UND AUSWERTUNG (AP 3)

Das AP 3 (Laufzeit 01.01.2022 – 31.07.2023) umfasst folgende Einzelziele:

- Fortsetzen Follow-Up-Erhebung (Touchscreen)
- Fortführen des GKV-Datenabgleiches in der Gesamtkohorte, neu verfügbare Zeitperioden und Krankenkassen werden bei der NAKO-TransferHub beantragt und mit eingebunden
- Durchführung des GKV-Daten-basierten Follow-Up
- Deskriptive Auswertungen aus der primären Datenerhebung, Zusammenführen der bereits durchgeführten Auswertungen der vorherigen AP und Ergänzung mit dem letztverfügbaren Datenbestand der GKV-Daten für die Analysen.

3. METHODIK

Die als Level-3-Studie durchgeführte Untersuchung findet zusätzlich zur NAKO-Zweituntersuchung an drei teilnehmenden Studienzentren (SZ) statt (Bremen, Essen und Neubrandenburg). Es ist vorgesehen, an jedem der beteiligten SZ bei 1 192 Personen konsekutiv Daten zur retrospektiven Strahlenexposition und Indikationen zu erheben, sodass die Kohorte auf 7 500 erweitert wird. Des Weiteren wird ein Follow-Up in den SZ durchgeführt. Beide Erhebungen werden über einen Touchscreen-Fragebogen umgesetzt.

Der GKV-Datenabgleich wird bei jenen durchgeführt, für die eine NAKO-Einwilligung zur Nutzung der Abrechnungsdaten vorliegt. Der Zeitraum der verfügbaren Abrechnungsdaten hierfür ist 2012-2018. Das GKV-Daten-basierte Follow-Up wird bei ca. 100 Personen im SZ Bremen erprobt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 VORBEREITUNG (AP 1)

Im Zeitraum Januar bis März 2021 wurden die Vorbereitungen der Studie durchgeführt (vgl. Pkt. 2.1).

4.2 REKRUTIERUNGSSTART UND VORBEREITUNG GKV-DATENABGLEICH (AP 2)

Am 16.08.2021 wurde mit der Rekrutierung in Essen und Neubrandenburg begonnen, und am 23.09.2021 begann die Erhebung im Studienzentrum Bremen (vgl. Pkt. 2.2). Die GKV-Daten werden derzeit noch in die Studiendatenbank der NAKO eingepflegt und standen deshalb 2021 für den geplanten GKV-Datenabgleich noch nicht zur Verfügung. Nach aktuellen Einschätzungen der NAKO-Transferstelle sollen die Daten im März 2022 für eine Nutzung bereitstehen.

5. ERGEBNISSE

5.1 VORBEREITUNG (AP 1)

- Der Antrag auf Durchführung dieser Level-3-Studie wurde beim Verein Nationale Kohorte e. V. eingereicht und durch den Vorstand der NAKO am 23.02.2021 genehmigt. In der Folge konnte der sogenannte Level-3-Vertrag zwischen dem NAKO e.V. und dem Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie - BIPS GmbH - am 15.03.2021 geschlossen werden.
- Die Integrierung des Fragebogens in die computergestützten NAKO-Interviews (Touchscreen) wurde vorbereitet. Eine Ablaufbeschreibung der Erhebung in den Studienzentren wurde in Rücksprache mit den Zentren erstellt.
- Der bereits vorhandene retrospektive Fragebogen aus der Vorgängerstudie wurde hinsichtlich einzelner Körperregionen und Indikationen ergänzt und angepasst. Ferner wurden die Einheiten „Strahlentherapie“ und „Nuklearmedizinische Therapie“ entfernt, um einen Fokus auf die diagnostischen Untersuchungen zu setzen. Der Fragebogen wurde primär als Touchscreen-Version entwickelt, eine Papierversion zur Mitnahme nach Hause wurde für Ausnahmen konzipiert, wenn Studienteilnehmende keine Zeit mehr haben oder Schwierigkeiten mit dem Touchscreen auftreten.
- Für die prospektive Erhebung wurde auf Basis des vorherig genutzten Follow-Up-Fragebogens ein neuer Fragebogen entwickelt, welcher ebenfalls auf dem Touchscreen genutzt werden soll. Im Gegensatz zur Vorgängerstudie wird auf die Verwendung eines studieninternen Röntgenpasses verzichtet.
- Ein Studienprotokoll, der bearbeitete Ethikantrag und das Datenschutzkonzept wurden erstellt. Vor Beginn der Rekrutierung wurde das (NAKO-Gesamtvotum ergänzende) Ethikvotum der zuständigen Ethikkommission in Bremen eingeholt.

5.2 REKRUTIERUNGSSTART UND VORBEREITUNG GKV-DATENABGLEICH (AP 2)

- Die Integration der Level-3-Abläufe in den Basisablauf wurde am Studienzentrum Bremen gemeinsam mit den NAKO-Mitarbeiter*innen abgestimmt und Schulungsunterlagen erarbeitet, die anschließend an die weiteren Studienzentren verteilt wurden.
- Die Rekrutierung begann am 16.08.2021 in Essen und Neubrandenburg und am 23.09.2021 in Bremen. Sie verläuft erfolgreich, jedoch verlangsamt auf Grund der verstärkten Hygiene- und Schutzmaßnahmen in der pandemischen Lage im Winter 2021. Ende 2021 hatten 712 Personen den Touchscreen FB ausgefüllt (Stand 07.01.2022).
- Der Antrag für die Nutzung der GKV-Daten wurde bereits geschrieben, allerdings kann dieser erst eingereicht werden, wenn die GKV-Daten auf dem NAKO-TransferHub für eine Beantragung angezeigt werden. Ein vorläufiger Analyseplan für den GKV-Datenabgleich wurde erstellt.
- Der Follow-Up-Fragebogen wurde erstellt und vom NAKO Integrationszentrum in die Touch-

screen-Umgebung implementiert. Es sind nur noch kleinere Anpassungen auf dem Touchscreen durchzuführen, bevor er für die Erhebung genutzt werden kann.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die retrospektive Erhebung wird fortgesetzt und mit dem Follow-Up wird begonnen, sobald die Anpassungen auf dem Touchscreen durchgeführt wurden. Sobald die GKV-Daten auf dem NAKO-TransferHub zur Verfügung stehen, werden diese beantragt. Der Analyseplan für den GKV-Datenabgleich wird in Zusammenarbeit mit dem Kompetenznetz für Sekundärdaten am BIPS weiter angepasst. Der Anforderungskatalog für ein GKV-Daten-basiertes Follow-Up wird erstellt, und die technischen wie auch methodischen Vorbereitungen für das GKV-Daten-basierte Follow-Up werden getroffen.

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

3620S42351

Beginn

01.04.2020

Ende

31.03.2023

Fördermittel

EUR 217.726,-

Forschungs- / Auftragnehmer

DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin

Projektleitung

E. Beck

Fachbetreuung BfS

Dr. H. Schlattl / MB 3

verantwortlich für den Text

E. Beck

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen der Modernisierung des Strahlenschutzes wurde durch die Richtlinie 2013/59/Euratom neues nationales Strahlenschutzrecht umgesetzt. Ziel dieses Vorhabens ist es, bestehende Normen an den aktuellen Stand der Technik anzupassen und zu konkretisieren, um so die Umsetzung der rechtlichen Vorschriften zur neuen Strahlenschutzverordnung und zum Strahlenschutzgesetz bundeseinheitlich zu gewährleisten. Des Weiteren ist es das Ziel, nationale Normen neu zu erarbeiten, um die Überwachung von Einrichtungen der medizinischen Radiologie hinsichtlich technischer Eigenschaften, Qualität und Strahlenschutz abzudecken.

Es gilt zudem, besonders bedeutsame DIN-Normen zur Einflussnahme in das europäische und internationale Normenwerk zu überführen. In Hinblick auf die Übernahmepflicht von europäischen Normen und zur Wahrung des deutschen Interesses sind wichtige nationale Normen bei den europäischen Normungsorganisationen CEN¹⁾ und CENELEC²⁾ einzubringen.

Insbesondere die neuen Normungsvorhaben sollen dazu dienen, einen Einfluss auf die europäische und internationale Normung zu nehmen, indem diese Themen frühzeitig bei den entsprechenden Organisationen CEN, CENELEC, ISO³⁾ bzw. IEC⁴⁾ etabliert werden, um die Ziele neuerer europäischer Vorgaben für den Strahlenschutz harmonisiert umsetzen zu können.

2. EINZELZIELSETZUNG

Es werden folgende Teilgebiete durch das Vorhaben abgedeckt:

- Anpassung bestehender Normen an das neue Strahlenschutzrecht
- Ergänzung fehlender Anforderungen zu Messunsicherheiten zum Nachweis der Konformität mit den SSK-Empfehlungen sowie den Empfehlungen der „Joint Committees for Guides in Metrology“
- Bearbeitung neuer Normen im Bereich der Diagnostik für digitale Volumetomographie (DVT), (Lungen-)Tomosynthese-Verfahren und zur Dosiseffizienz von CT-Scannern
- Erstellung neuer Anforderungen und Prüfungen an Verfahren zur Dosimetrie
- Erstellen der wesentlichen Verfahren zur Durchführung eines Risikomanagements für den medizinischen Strahlenschutz in der Anwendung

¹⁾ Europäisches Komitee für Normung

²⁾ Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung

³⁾ Internationale Organisation für Normung

⁴⁾ Internationale Elektrotechnische Kommission

- Überarbeitung von DIN-Normen zum baulichen Strahlenschutz

Des Weiteren wird durch DIN die Teilnahme von Experten des Normenausschusses Radiologie (NAR) an europäischen und internationalen Sitzung ermöglicht, um die Implementierung und Verteidigung national wichtiger Themen zur medizinischen Radiologie voranzutreiben und so das erhebliche Interesse des Bundes an einer Koordinierung der Normenerstellung und frühzeitiger und direkter Mitwirkung bei der internationalen Normerstellung zu gewährleisten.

3. METHODIK

Das Vorhaben gliedert sich in drei Arbeitspakete: In einem ersten Arbeitspaket (AP 1) erfolgte in den Monaten April 2020 bis Juni 2020 eine Aufarbeitung des themenbezogenen Standes der Technik, zur weiteren Berücksichtigung bei der Bearbeitung der Arbeitspakete AP 2 und AP 3. Im Rahmen der Arbeitspakete AP 2 und AP 3 stehen beginnend mit Monat Mai 2020 und über die gesamte Projektlaufzeit die Erstellung von Norm-Entwürfen, die Finalisierung bereits in Überarbeitung befindlicher Normen sowie die Aufnahme von Projektarbeiten zur Erstellung der vorgesehenen neuen Normungsinhalte im Fokus.

Der Bearbeitungsprozess der Normen unterliegt dabei den Regeln von DIN, u. a. der Richtlinie für Normenausschüsse des DIN und der Geschäftsordnung des Normenausschusses Radiologie (NAR) sowie der DIN 820-4 „Geschäftsgang“.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung aller Arbeiten erfolgte ausschließlich per E-Mail-Korrespondenz sowie im Rahmen von internetbasierten Telefonkonferenzen, da die durch Covid-19 verursachten Einschränkungen eine physische Zusammenkunft der Expert*innen im Jahr 2021 wie schon zuvor 2020 nicht erlaubten. Dieser Umstand hatte, wie sich im Zuge der Arbeiten herausstellte, keine negative Auswirkung auf die erzielten Ergebnisse.

Der im Rahmen des AP 1 vorgesehene Sachbericht wurde planmäßig erstellt und fristgerecht Ende Juni 2020 an den BfS-Projektbegleiter übergeben. Einzelne, im Rahmen der weiteren Arbeiten noch zu klärende Fachfragen wurden vermerkt und deren Lösung sodann nachgehalten.

Im Rahmen der Arbeitspakete AP 2 und AP 3 des Auftrages wurden die Erstellung von Norm-Entwürfen, Finalisierung von bereits in Überarbeitung befindlichen Normen sowie das Starten neuer Projekte zur Erstellung neuer Normungsinhalte gemäß den von den Arbeitsausschüssen des Normenausschusses Radiologie (NAR) festgelegten Maßnahmen vorangetrieben.

Der dem Auftrag nach vorgesehene Zwischenbericht wurde erstellt und fristgerecht Mitte April 2021 an den BfS-Projektbegleiter übergeben; eine korrigierte Version wurde Anfang Mai 2021 an den BfS-Projektbegleiter übermittelt.

Einhergehend mit der Weiterbearbeitung der einzelnen Teilprojekte wurde im Berichtszeitraum die Prüfung der noch zu klärenden Detailfragen zu neuen Normungsvorhaben in Zusammenarbeit mit dem BfS-Fachbegleiter abgeschlossen. Der BfS-Fachbegleiter nahm an einigen Ausschuss-Sitzungen teil, um finale klärende Aussagen zu noch offenen Fragen zu tätigen.

Anhand der Ergebnisse konnte der dem Projektangebot als Anlage 2 beigegebene schematische Zeitplan weiter konkretisiert werden. Bereits veröffentlichte Entwürfe sowie Normen wie auch die einzelnen Arbeitsstände und, wo zutreffend, neu geplante Zeitrahmen der Projekte wurden gekennzeichnet und dem BfS-Projektbegleiter übergeben.

Des Weiteren wurde Mitte Januar 2022 ein Projektgespräch mit dem BfS-Projektbegleiter sowie den Obleuten der NAR-Arbeitsausschüsse abgehalten. In diesem Rahmen wurden die bisherigen Ergebnisse besprochen und Fragen der Teilnehmer*innen beantwortet, wie auch seitens der NAR-Geschäftsführung in Zusammenarbeit mit den Obleuten potenzielle neue Teilprojekte für einen möglichen Folgevertrag aufgezeigt.

5. ERGEBNISSE

5.1 VERÖFFENTLICHUNG VON NORMEN UND NORM-ENTWÜRFEN ZU DEN EINZELNEN TEILPROJEKTEN

Im Berichtszeitraum konnten ein Norm-Entwurf und sieben Normen veröffentlicht werden. Eine Norm wurde zurückgezogen. Belegexemplare dieser nachfolgend aufgeführten Dokumente wurden dem BfS-Fachbegleiter übersandt.

Es handelt sich um folgenden Norm-Entwurf:

- E DIN 6853-2:2021-08, Medizinische ferngesteuerte, automatisch betriebene Afterloading-Anlagen - Teil 2: Strahlenschutzregeln für die Errichtung.

Es handelt sich um folgende Normen:

- DIN 6868-159:2021-04, Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil 159: Abnahme- und Konstanzprüfung in der Teleradiologie
- DIN 6812:2021-06, Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV - Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes
- DIN 6815:2021-06, Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV - Regeln für die Prüfung des Strahlenschutzes nach Errichtung, Instandsetzung und wesentlicher Änderung
- DIN 6847-2:2021-06, Medizinische Elektronenbeschleuniger-Anlagen - Teil 2: Bautechnische Anforderungen an den Strahlenschutz und Festlegungen zur Prüfung von Genehmigungsvoraussetzungen für den Betrieb
- DIN 6873-1:2021-05, Bestrahlungsplanungssysteme - Teil 1: Inbetriebnahme
- DIN 6868-1:2022-01, Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil 1: Allgemeines
- DIN 6868-157:2022-01, Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil 157: Abnahme- und Konstanzprüfung an Bildwiedergabesystemen in ihrer Umgebung.

Es handelt sich um folgende Zurückziehung:

- DIN 6848-1, Kennzeichnung von Untersuchungsergebnissen in der Radiologie - Teil 1: Patientenorientierung bei bildgebenden Verfahren.

5.2 ERGEBNISSE ZU NEUEN NORMUNGSVORHABEN

Im Berichtszeitraum konnten die noch offenen Fragen zu den „Neuen Normungsvorhaben“ final geklärt werden, so dass hier teilweise die Arbeiten begonnen haben. Von den avisierten 11 Projekten für „Neue Normungsvorhaben“ konnte bisher folgendes Ergebnis erzielt werden:

- 2 Projekte wurden abgeschlossen (als DIN 6868-1 und DIN 6868-157 veröffentlicht, siehe 5.1)
- 6 Projekte befinden sich in Erarbeitung
- 2 Projekte werden durch bereits existierende Normen abgedeckt
- 1 Projekt kann noch nicht erarbeitet werden, weil zu diesem Thema aktuell noch Ringversuche stattfinden.

Eine detaillierte Auflistung aller Ergebnisse wird im Zwischenbericht 2022 erfolgen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Weiterarbeit erfolgt in jedem Teilprojekt entsprechend den Grundsätzen der Normungsarbeit.

Arbeiten an noch (weiter) zu bearbeitenden und noch nicht veröffentlichten Projekten werden weiter fortgeführt bzw. teilweise ab Januar 2022 begonnen. Erste Ergebnisse zu den jeweiligen Projekten werden zu den Frühjahrssitzungen erwartet.

Thema

Simulation von interventionellen Strahlenanwendungen in virtueller Realität zur Optimierung des Strahlenschutzes von Personal und Patienten

Subject

Simulation of interventional radiation applications in virtual reality to optimize radiation protection of personnel and patients

Kennzeichen

3621S42350

Beginn

01.07.2021

Ende

01.07.2022

Fördermittel

EUR 201.879,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Northdocks GmbH, Monheim am Rhein

Projektleitung

S. Fuchs

Fachbetreuung BfS

Dr. H. de las Heras Gala / MB 3

verantwortlich für den Text

Dr. J. Barenthien, S. Fuchs

1. ZIELSETZUNG

Zielsetzung der in diesem Statusbericht berichteten Arbeiten zu Arbeitspaket 2 ist die Entwicklung einer ersten Version der VR-Simulation von interventionellen Strahlenanwendungen zur Optimierung des Strahlenschutzes von Personal und Patient*innen. Die Entwicklung einer ersten Version der VR-Simulation umfasst verschiedene Arbeitsschritte, die im Unterkapitel Einzelzielsetzungen beschrieben sind.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 SIMULATION KATHETERLABOR MIT GERÄTSCHAFTEN UND SCHUTZMITTELN

In einem ersten Schritt ist das Ziel, das Katheterlabor, in dem sich die Trainierenden beim VR-Training befinden, nachzubilden. Dabei werden typische Gerätschaften wie der C-Bogen und der Behandlungstisch sowie Strahlenschutzmittel wie die Bleischürze, Schilddrüsenschutz, Bleihaube und Bleibrille, die vom Untersuchenden getragen werden, in die virtuelle Realität übertragen und dort simuliert.

2.2 IMPLEMENTATION INTERAKTIONSMÖGLICHKEITEN UND BEWEGUNGSFREIHEIT

In dem zweiten Unterarbeitspaket geht es darum, Interaktionsmöglichkeiten mit der VR-Simulationsumgebung sowie die Möglichkeit zur Bewegung in der VR-Umgebung zu programmieren. Dies beinhaltet unter anderem folgende Interaktions- und Bewegungsmöglichkeiten:

- Implementierung der Möglichkeit, Bleiplatte und Unterbodenschutz so zu platzieren, dass Streustrahlung minimiert wird.
- Implementierung der Möglichkeit, den Bildverstärker an den Patienten heranzufahren.
- Implementierung der Möglichkeit, die Bildrate (Cine und Fluoro) zu verändern und die Low-Medium-High Einstellung sowie voll- und semitransparente Blenden zu verwenden.
- Implementierung der Bewegungsfreiheit, um bei der simulierten Untersuchung den Abstand zum C-Bogen zu halten sowie „strahlenarme“ Projektionen auszuwählen.

2.3 SIMULATION NUTZ- UND STREUSTRALUNG

In einem dritten Schritt ist das Ziel, eine separate Simulation der Nutz- und Streustrahlung zu programmieren.

2.4 ABSCHÄTZUNG BZW. BERECHNUNG DER ORGANDOSISWERTE

In einem vierten Schritt erfolgt die Abschätzung oder Berechnung von Organdosiswerten (insbesondere für Augenlinse und Schilddrüse), der Hautdosis an den Händen und der effektiven Dosis für das Personal und den Patienten für die o. g. Expositionsszenarien und Schutzmittel.

2.5 AUSWERTUNG UND DARSTELLUNG DER LEISTUNG(SKURVE)

In einem fünften Schritt wird darauf abgezielt, die Auswertung der Leistung und die graphische Darstellung der ermittelten Werte in einer Leistungskurve zu implementieren.

3. METHODIK

Die Simulation des Katheterlabors und der Geräte wurden anhand von Fotos eines Katheterlabors und der dazugehörigen Geräte durchgeführt. Die Möglichkeit, die Interaktionsmöglichkeiten und Bewegungsmöglichkeiten der Geräte so zu implementieren, dass diese möglichst realistisch in der virtuellen Realität abgebildet werden können, soll durch eine Erprobung im Katheterlabor erfolgen. Weitere Möglichkeiten zur Bewegung und Interaktion (z. B. Bewegung durch das Katheterlabor) wurden auf Basis des Erfahrungsschatzes der Programmierer*innen hinsichtlich der einfachen Bedienung durch Endanwender*innen programmiert. Die Simulation von Nutz- und Streustrahlung sowie die Abschätzung bzw. Berechnung der Organdosiswerte werden im Austausch mit den Experten des UKSHs umgesetzt.

4. DURCHFÜHRUNG

Für die Entwicklung der Simulationsumgebung in VR standen die Mitarbeiter*innen der Northdocks GmbH im engen Austausch mit den Ansprechpersonen des Universitätsklinikums Kiel Dr. Lützen und Dr. Trentmann und ihren Mitarbeiter*innen und konnten dort einen Vorort-Besuch durchführen. Dabei konnten auch Bilder des Katheterlabors und der Geräte gemacht werden sowie die Interaktions- und Bewegungsmöglichkeiten ausprobiert werden. Anhand dieser gesammelten Bilddaten sowie der getesteten Interaktionsmöglichkeiten und Bewegungsmöglichkeiten der Geräte konnten die Programmierer*innen eine Simulationsumgebung programmieren.

5. ERGEBNISSE

Bisher wurden bereits das Katheterlabor sowie die Geräte, der C-Bogen und der Behandlungstisch in virtueller Realität nachgebildet. Des Weiteren wurde die Möglichkeit, den C-Bogen an den Patienten heranzufahren, implementiert.

Erste Ergebnisse können im Folgenden Video der Northdocks GmbH angeschaut werden:

https://www.youtube.com/watch?v=iM_4ltkjCTs

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im Rahmen der Weiterarbeit an Arbeitspaket 2 ist insbesondere ein Fokus auf die separate Simulation der Nutz- und Streustrahlung sowie eine Abschätzung bzw. Berechnung von Organdosiswerten (insbesondere für Augenlinse und Schilddrüse), der Hautdosis an den Händen und der effektiven Dosis für das Personal und den Patienten für die o. g. Expositionsszenarien und Schutzmittel geplant. Um hier eine fachlich korrekte Simulation zu gewährleisten, ist ein weiteres Treffen mit den Ansprechpersonen am UKSH geplant.

Thema

Präklinische Experimente zur Nuklidverteilung, pharmakokinetische Modellierung und interne Dosisabschätzung bei der Radionuklidtherapie mit Alpha-Strahlern

Subject

Preclinical experiments for the radionuclide distribution, pharmacokinetic modelling and assessment of the internal dose during radionuclide therapy with alpha emitters

Kennzeichen 3621S42440	Beginn 01.08.2021	Ende 31.01.2024	Fördermittel EUR 467.810,-
----------------------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Forschungs- / Auftragnehmer
Helmholtz Zentrum München, Institute of Radiation Medicine, Neuherberg

Projektleitung Dr. K. Hürkamp	Fachbetreuung BfS Dr. V. Spielmann /MB 3	verantwortlich für den Text Dr. K. Hürkamp
---	--	--

1. ZIELSETZUNG

Bei der Radionuklidtherapie wird ein Radiopharmakon in den Körper eingebracht, das über das Blut direkt zu den Tumorzellen gelangt, wo es von diesen internalisiert wird oder an sie andockt, zerfällt und seine zytotoxische Wirkung entfaltet. Nachdem bisher Betastrahler zum Einsatz kamen, werden in der Behandlung von metastasierendem kastrationsresistentem Prostatakrebs seit 2013 auch Alphastrahler wie Ra-223 und seit 2017 Ac-225-PSMA-617 (Prostata-spezifisches Membranantigen), insbesondere für Patienten eingesetzt, die nach bereits erfolgter Lu-177-PSMA-Therapie ein Fortschreiten der Tumorerkrankung aufweisen.

Durch die lokale Bestrahlung und den hohen linearen Energietransfer der Alphastrahler bei geringer Reichweite kommt es zur selektiven Zerstörung der Tumorzellen durch eine hohe Rate von Doppelstrangbrüchen bei weitgehender Schonung des gesunden, umliegenden Gewebes. Vor diesem Hintergrund ist es von hoher Bedeutung, die Dosimetrie dieser Liganden systematisch zu untersuchen, da weder das klinische Nebenwirkungsprofil, noch die interne Dosimetrie umfassend bekannt sind. Daher besteht die Notwendigkeit in präklinischen Experimenten die genaue Biodistribution des Actiniums und seiner Folgeprodukte, und die jeweiligen Dosen für einzelne Organe zu bestimmen.

In-vivo-Studien zum biokinetischen Verhalten des Radiopharmakons können Hinweise zur Stabilität der Verbindung sowie zur Relevanz der eventuellen Abtrennung geben. Ziel des Projektes ist daher die Optimierung der Anwendung von Alpha-Strahlern in der Radionuklidtherapie. In präklinischen Experimenten mit Ac-225-PSMA I&T werden:

- die Nuklidverteilung des Ac-225 und seiner Folgeprodukte, gebunden an die Trägersubstanz PSMA I&T oder als niedermolekulare Verbindungen in repräsentativen Organen und Geweben, Blut, Urin und im Tumor zu verschiedenen Zeitpunkten nach der Injektion ermittelt,
- ein pharmakokinetisches Modell für Ac-225-PSMA I&T und seine Folgeprodukte entwickelt, das auch eine mögliche Abtrennung des Radiopharmakons von der Trägersubstanz berücksichtigt sowie
- die interne Dosis berechnet und die Ergebnisse mit Werten aus der Literatur verglichen.

Das Projekt wird in enger Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Strahlenmedizin (IRM) am Helmholtz Zentrum München GmbH und der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin am Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München in vier Arbeitspaketen durchgeführt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Neben der Literaturrecherche zum Stand der Wissenschaft und Technik (AP 1.1) und der Einholung der Genehmigung nach TierSchG (AP 1.2) wurde 2021 damit begonnen, in AP 2.1 Zellkulturexperimente

mit Ac-225-PSMA I&T durchzuführen, um die Lipophilie, Zellinternalisierung und -externalisierung des im Klinikum rechts der Isar erstmals angewendeten Ac-225-PSMA I&T in PSMA-exprimierenden Prostatakrebszellen (LNCaP- und PC3-PIP-Zellen) zu bestimmen, bevor mit *in vivo*-Experimenten an Mäusen begonnen wird. Mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse soll die Planung der *in vivo*-Experimente optimiert und ggf. die Anzahl der Tiere reduziert werden. Es ist wichtig, die Markierung des PSMA I&T mit Ac-225 zu optimieren, um eine hohe spezifische Aktivität zu erzielen, damit es nicht zu einer Sättigung von PSMA-Bindungsstellen und daher zu einer gegenüber der Situation im Menschen veränderten Biodistribution kommt. Für die Aktivitätsmessungen in den *in vitro*-Experimenten kam ein Gamma-Counter zum Einsatz. Die Energiefenster wurden für die Messung der Tochternuklide von Ac-225, Fr-221 und Bi-213 angepasst und Korrekturen für die durch den Betazerfall von Bi-213 entstehende Bremsstrahlung berücksichtigt.

3. METHODIK UND

4. DURCHFÜHRUNG

Für die *in vitro*-Experimente wurde PSMA I&T (ITM Garching) mit Ac-225 (3-6 MBq, JRC Karlsruhe) in Tris(hydroxymethyl)aminomethan-Puffer (0,1 M, pH 9) unter Erhitzung in einem Mikrowellenofen bei 95°C für 5 min markiert. Die radiochemische Reinheit wurde mittels Radio-Dünnschicht-Chromatographie (ITLC-Papier, 0,5 M Natriumcitrat pH 5) und Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie (HPLC) analysiert. Zur Bestimmung der Lipophilie wurde der Verteilungskoeffizient ($\log D_{7,4}$) von Ac-225-PSMA I&T in n-Octanol und phosphatgepufferter Salzlösung (PBS, pH 7,4) gemessen.

Vor jedem Zellkulturrexperiment wurden die PSMA-exprimierenden LNCaP-Zellen und eine zweite, aggressivere, aber auch robustere Art von Prostatakrebs-Zellen, die PC3-PIP-Zellen bei 37°C kultiviert, bis die erforderliche Anzahl von Zellen (125 000, 250 000 bzw. 500 000 pro Vertiefung in der Zellkulturplatte je nach Teil-Experiment) erreicht wurde. Dafür wurde das PBS-Zellkulturmedium (RPMI) alle zwei Tage ausgewechselt und die Zellkulturen alle vier Tage geteilt. Zunächst wurden die optimale Konzentration des Liganden (10 nM, 20 nM oder 50 nM) und die optimale Dauer für die Inkubationszeit (15 min, 30 min oder 60 min) nach dem Markieren mit dem Radiotracer bestimmt.

Nach einem kartuschenbasierten Reinigungsschritt, der die Abtrennung der Zerfallsprodukte im säkularen Gleichgewicht mit Ac-225 ermöglicht, wurden Internalisierungsstudien von Ac-225-PSMA I&T (50 nM pro Vertiefung in der Zellkulturplatte) an LNCaP und PC3-PIP-Zellen (125 000 bzw. 250 000 Zellen pro Vertiefung) bei 37°C (n = 3) für 60 min Inkubationszeit nach der Methode von Wurzer et al. (2020, 2020a) durchgeführt. Nicht-internalisierte Aktivität wurde nach Zentrifugation im Überstand der Lösung bestimmt. An die Oberflächen der Zellen gebundene Aktivitäten wurden zuvor mit kalter 2-PMPA-Lösung entfernt und separat quantifiziert. Internalisierte Aktivität von Ac-225 wurde durch Zugabe von NaOH mit verbundener Zerstörung der Zellen ermittelt. Die Inkubationszeit für die beiden letzten Schritte betrug jeweils 10 min.

Die Externalisierung von Ac-225-PSMA I&T und der Zerfallsprodukte wurde durch Inkubation mit 2-PMPA für 180 Minuten (n = 3) nach der Methode von Schmidt (2017) bestimmt. Internalisierte und externalisierte Anteile wurden per Messung der Gamma-Emission von Fr-221 (218 keV) und Bi-213 (440 keV) mit dem Gamma-Counter WIZARD² (PerkinElmer) bestimmt.

5. ERGEBNISSE

Die Markierung der PC3-PIP-Zellen von PSMA I&T mit Ac-225 war mit hoher radiochemischer Reinheit von $98,3 \pm 0,3$ % (n = 5) möglich, wobei eine Konzentration von 5-10 nM PSMA I&T pro MBq Ac-225 gewählt wurde. Niedrigere Konzentrationen (3 nM MBq^{-1}) führten zu einer unvollständigen Komplexbildung (radiochemische Reinheit <60 %). Die LNCaP-Zellen haben neben der gering ausgeprägten Robustheit bei der Zellkultur eine extrem geringe zelluläre Aktivitätsaufnahme und Externalisierungs-Kinetik gezeigt, weshalb sich im Folgenden auf die PC3-PIP-Zellen konzentriert wurde.

Der $\log D_{7,4}$ Wert für die Lipophilie von Ac-225-PSMA I&T lag bei $-3,8 \pm 0,1$ für Ac-225, $-3,5 \pm 0,2$ für Fr-221 und $-3,4 \pm 0,3$ für Bi-213 und steht damit für eine hohe Hydrophilie.

Ac-225-PSMA I&T wurde innerhalb von 60 min in PC3-PIP-Zellen internalisiert, ohne einen signifikanten Unterschied bei der Quantifizierung durch Messung von Fr-221 ($23,8 \pm 4,3$ % Internalisierung) oder Bi-213 ($22,0 \pm 2,5$ %) festzustellen. Nach 30 min lag die Internalisierung bei $16,3 \pm 5,1$ % für Fr-221 bzw. $15,5 \pm 4,5$ % für Bi-213.

Interessant ist, dass über 180 min, $47,2 \pm 5,8$ % (Fr-221) und $49,9 \pm 6,2$ % (Bi-213) der internalisierten Aktivität von Ac-225-PSMA-I&T externalisierte. Eine genaue Interpretation der Ergebnisse steht noch bevor. Die Internalisierungsraten sind allerdings sehr zufriedenstellend, so dass auf jeden Fall mit Ac-225-PSMA I&T in den *in vivo*-Experimenten weitergearbeitet werden kann.

Die Ergebnisse wurden in einem Abstract für einen Vortrag auf dem *Annual Meeting der Society for Nuclear Medicine and Molecular Imaging in Vancouver, Canada* im Juni 2022 eingereicht (Wurzer et al. 2022).

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Ergebnisse der Zellkulturexperimente müssen noch interpretiert werden, um daraus Rückschlüsse für den Fortgang und die mögliche Optimierung der *in vivo*-Experimente zu ziehen. Diese werden jetzt zeitlich geplant und den Mäusen entsprechend in die Prostatakrebszellen injiziert, damit das Xenograft Tumorstadium über die nächsten Wochen erfolgen kann.

Bevor die definitiven Biodistributionsuntersuchungen durchgeführt werden können, ist es erforderlich, sich einen Eindruck über den Verlauf der Aufnahme und Ausscheidung der Radioaktivität zu verschaffen. Diese Daten können dann genutzt werden, die Untersuchungszeitpunkte für die definitiven Biodistributionsuntersuchungen so zu wählen, dass die Fläche unter den Zeit-Aktivitäts-Kurven möglichst genau bestimmt werden kann. Darin einfließen sollen auch die Ergebnisse des biokinetischen Modells für Actinium (Ac-225), das auf Basis der Daten von der *International Commission on Radiological Protection (ICRP – Occupational Intakes of Radionuclides Series, ICRP 2017, 2019)* im Arbeitspaket 3.2 erstellt wird und als Basis für das pharmakokinetische Modell für Ac-225-PSMA I&T dienen wird. Über die Zeit-Aktivitäts-Kurven in den einzelnen Organen und im Blut lassen sich die Zeitpunkte optimieren, zu denen eine Aktivitätsbestimmung in den einzelnen Organen der Mäuse notwendig wird. Aktuell wird mit einer Versuchsgruppengröße von fünf Tieren pro Zeitpunkt geplant.

Zur Aktivitätsbestimmung in den Organen sind neben den Messungen mit dem Gamma-Counter auch Messungen per quantitativer digitaler Autoradiographie geplant. Diese Technik ermöglicht die Quantifizierung der Verteilung von Alpha-Strahlern im Gewebe der besonders dosisrelevanten Organe wie z. B. Leber oder Nieren auch auf der Mikroskala. In den Vorversuchen werden die Signale aus der Alpha-Autoradiographie durch Vergleich von Messungen im Gamma-Counter kalibriert.

3.5 Themenbereich 05
Radioökologie

3.5 *Subject area 05*
Radioecology

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 considering clearance of material with negligible activity

Kennzeichen

3618E03510

Beginn

01.09.2019

Ende

31.08.2022

Fördermittel

EUR 227.512,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Universität Stuttgart, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung

Projektleitung

apl. Prof. B. Flemisch

Fachbetreuung BfS

Dr. R. Merk / UR 6

verantwortlich für den Text

R. Winter

1. ZIELSETZUNG

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 sehr schwach kontaminiertem Material auf Oberflächendeponien relevant. Dabei handelt es sich in der Regel 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 deren Transport modelliert.

Forschungsbedarf ergibt sich in Hinsicht auf die Anwendbarkeit der bisher verwendeten Ansätze, die Aspekte vereinfachen oder vernachlässigen. Vor allem Bauschutt zeigt eine starke Heterogenität der Größenklassen, wodurch Effekte eine Rolle spielen können, die im homogenen Fall vernachlässigbar sind.

Ein weiteres Aufgabengebiet ist die Einbeziehung von extremen Wetterereignissen. Vor allem Starkregen und mögliche damit zusammenhängende Phänomene, wie zum Beispiel die Überschwemmung der Deponie, sollen untersucht werden.

Um dies zu realisieren wird die selbstentwickelte Simulationssoftware DuMu^x genutzt. Diese wird nach Open-Source-Prinzipien entwickelt, wodurch die Transparenz der Forschungsprozesse erhöht und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse vereinfacht werden. Viele Modelle sind dabei schon vorhanden und können um neue Aspekte erweitert werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 SPEZIALISIERTE HYDRODYNAMIK HETEROGENER PORÖSER MEDIEN

Im ersten Teil wird untersucht, welchen Einfluss stark heterogene Modellgebiete auf den Einsatz der Modellierungsansätze haben. Dabei werden die partiellen Differentialgleichungen der Zweiphasenströmung (Wasser und Luft) und als deren Vereinfachung die Richards-Gleichung untersucht. Der Unterschied bei der Richards-Gleichung ist die Annahme, dass auf Grund der erhöhten Mobilität der Gasphase im Vergleich zur Wasserphase entsprechende Druckgradienten vernachlässigbar sind und daher die Gleichung der Gasphase nicht gelöst werden muss.

Des Weiteren wird der Einfluss von Teilgebieten mit sehr hoher Permeabilität innerhalb der Deponie auf die Modellierungsansätze untersucht. Durch eine hohe Permeabilität können auch hohe Geschwindigkeiten auftreten, wodurch der Einsatz der normalerweise verwendeten Darcy-Gleichung nicht mehr gerechtfertigt ist. Stattdessen kann die Darcy-Forchheimer-Gleichung verwendet werden. Diese bein-

haltet einen extra Term, der eine nicht-lineare Abhängigkeit zwischen Druckgradient und Geschwindigkeit herstellt. Damit wird der Einfluss der Trägheit berücksichtigt.

2.2 ANKOPPLUNG DER HYDRODYNAMIK AN DIE TRANSPORTTHEORIE DER RADIONUKLIDE IN HETEROGENEN PORÖSEN MEDIEN

Das Augenmerk liegt auf dem Zusammenhang zwischen den Transportgleichungen eines der oben beschriebenen Mehrphasen-Modelle und den Radionukliden. Die Radionuklide können als Teil der Wasserphase verstanden werden, oder als gelöste Teilchen, die die Wasserströmung nicht beeinflussen.

3. METHODIK

3.1 SPEZIALISIERTE HYDRODYNAMIK HETEROGENER PORÖSER MEDIEN

In einem ersten Schritt muss ein Modellgebiet erstellt werden, das die Heterogenität einer Bauschuttdeponie abbilden kann. Dazu wird mit Hilfe des geostatistischen Programms „gstat“ ein Modellgebiet mit zufälligem Permeabilitätsfeld erstellt. Dabei wird die Matérn-Kovarianz-Funktion verwendet. Die Besonderheit bei dieser Funktion ist, dass lokal keine großen Wertesprünge auftreten. In der Funktion können unterschiedliche Parameter, wie die Weite der Verteilung oder eine mögliche Anisotropie variiert werden. Da die Permeabilität auch immer einen Einfluss auf den Eindringdruck hat, wird mit Hilfe der Leverett-J-Funktion der Eindringdruck für jede Permeabilität angepasst. Bei dieser Funktion gibt es einen Referenz-Eindringdruck für eine Referenz-Permeabilität, mit deren Hilfe der Eindringdruck für die vorhandene Permeabilität skaliert wird. Der Eindringdruck geht in die Berechnung des Kapillardrucks mit Hilfe des Brooks-Corey-Modells ein. Dadurch erhält man ein 2D-Modellgebiet mit einer heterogenen Permeabilitäts- und Kapillardruckverteilung.

Für die Darcy-Forchheimer-Gleichung können mehrere Ansätze verwendet werden. Manche bevorzugen die Verwendung eines Forchheimer-Koeffizienten nur unter Einbeziehung der Permeabilität, andere berücksichtigen zusätzlich die Sättigung.

3.2 ANKOPPLUNG DER HYDRODYNAMIK AN DIE TRANSPORTTHEORIE DER RADIONUKLIDE IN HETEROGENEN PORÖSEN MEDIEN

Um die Modellierung der Hydrodynamik mit dem Transport der Radionuklide zu verknüpfen, wird ein sogenanntes Tracer-Modell verwendet. Dabei werden die Strömungsgleichung für das Wasser und die Transportgleichung(en) für die Radionuklide nacheinander gelöst. Da die Radionuklide in einer sehr geringen Konzentration zu erwarten sind, wird davon ausgegangen, dass sie die Hydrodynamik nicht beeinflussen und deswegen irrelevant für die Lösung der Strömungsgleichung sind.

Die aus der Strömungsgleichung berechneten Volumenflüsse werden in das Tracer-Modell übernommen und dessen Transportgleichung(en) gelöst. Daraus ergibt sich eine sequentielle Kopplung.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 SPEZIALISIERTE HYDRODYNAMIK HETEROGENER PORÖSER MEDIEN

Für den Vergleich zwischen den oben beschriebenen Zweiphasen- und Richards-Modellen werden einige repräsentative Parametersätze für das „gstat“-Programm ausgewählt. Die Ergebnisse werden daraufhin untersucht, ob substantielle Unterschiede in den Ergebnissen auftreten und wie gut die numerischen Löser konvergieren. Auch die Rechenzeit spielt eine große Rolle. Beim Auswählen der Parameter wird versucht, ein Modellgebiet zu erstellen, das die Unterschiede zwischen den Gleichungen berücksichtigt. Dies zielt vor allem darauf ab, die Mobilität der Gasphase einzuschränken, da dabei die größten Unterschiede zu erwarten sind.

Ähnlich wird bei dem Vergleich zwischen Darcy- und Darcy-Forchheimer-Gleichung vorgegangen. Hier wird versucht, das Modellgebiet so zu erstellen, dass Gebiete mit hoher Geschwindigkeit entstehen, welche einen relevanten Einfluss auf die Hydrodynamik haben. Das können zum Beispiel vertikale Ge-

biere mit hoher Permeabilität sein. Zusätzlich werden noch besondere Gebiete mit hoher Permeabilität in unterschiedlichen Formen hinzugefügt. Dadurch liegen drei verschiedene Modellgebiete vor, an denen Untersuchungen durchgeführt werden. Zum Beispiel gibt es verschiedene Ansätze, den in der Darcy-Forchheimer-Gleichung verwendeten Forchheimer-Parameter zu berechnen. Der eine Ansatz ist einfach und deswegen weit verbreitet und berücksichtigt die Geschwindigkeit der Flüssigkeit und die Permeabilität des porösen Mediums. Der zweite verwendete Ansatz ist erweitert für Mehrphasen-Modelle und bezieht unter anderem auch noch den Anteil der Phasen mit ein. Diese Ansätze werden verglichen und zusätzlich zu den oben beschriebenen Parametern auch noch das Geschwindigkeitsfeld und die Zeit untersucht, bei der das Wasser das untere Ende des Modellgebiets erreicht.

5. ERGEBNISSE

5.1 SPEZIALISIERTE HYDRODYNAMIK HETEROGENER PORÖSER MEDIEN

Bis jetzt konnten bei dem Vergleich zwischen den Zweiphasen- und Richards-Modellen keine substantiellen Unterschiede zwischen den untersuchten Modellen festgestellt werden. Nur bei der Entwicklung einer Fließfront gibt es kleine Differenzen, die aber auch auf numerische Feinheiten zurückzuführen sind.

Die Ergebnisse zu den Untersuchungen zur Darcy-Forchheimer-Gleichung sollen in einem Journal mit Peer-Review Verfahren veröffentlicht werden. Der eingereichte Artikel ist akzeptiert und wird demnächst veröffentlicht.

Eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse ist:

- Die durch die hohen Geschwindigkeiten entstehenden Trägheitseffekte werden durch die verschiedenen Ansätze zur Berechnung des Forchheimer-Parameters unterschiedlich abgebildet. Auch unterscheiden sich die Ansätze im Rechenaufwand. Der Mehrphasen-Ansatz hat sowohl höhere Trägheitseffekte als auch eine deutlich höhere Rechenzeit.
- Deswegen muss für das Modellgebiet geprüft werden, ob die Geschwindigkeiten hoch genug sind. Zusätzlich spielt noch eine Rolle, wie lange die Simulation laufen soll (betrachtete Zeiträume). Wenn die Geschwindigkeiten nicht hoch genug sind oder die Simulation sehr lange laufen soll, sind beide Ansätze sehr aufwendig.

5.2 ANKOPPLUNG DER HYDRODYNAMIK AN DIE TRANSPORTTHEORIE DER RADIONUKLIDE IN HETEROGENEN PORÖSEN MEDIEN

Die bisherigen Probleme durch ein unphysikalisches Verhalten des Tracer-Modells für mehrere Phasen sind identifiziert und beseitigt. Es gibt erste Versuche den radioaktiven Zerfall in das Tracer-Modell zu implementieren. Auch die Sorption wurde für erste Beispiele implementiert. Dafür wurde für das Tracer-Modell eine zusätzliche Festphase hinzugefügt, die im Gleichgewicht mit dem Tracer in der Lösung steht.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Ergebnisse aus den beiden Bereichen sollen jetzt zusammengefasst werden. Dafür müssen die Gleichungen für den radioaktiven Zerfall in das Tracer-Modell übernommen werden. Auch soll das berücksichtigte Modellgebiet von 2D zu 3D erweitert werden. Dann können auch zum Beispiel Unterschiede zwischen unterschiedlichen Deponietypen berücksichtigt werden. Ein wichtiger Punkt ist auch noch die Einbeziehung der Sorption der Radionuklide. Die oben beschriebene Arbeit muss daher noch weiter getestet und erweitert werden.

Thema

Ermittlung eines generischen Quellterms für die Modellierung der Staubfreisetzung aus NORM mit ARTM unter Berücksichtigung meteorologischer Parameter und relevanter Stoffeigenschaften

Subject

Evaluation of a generic source term for modelling of dust dispersion from NORM material using ARTM computer code considering meteorological parameter and relevant material properties

Kennzeichen

3620S52270

Beginn

01.06.2020

Ende

31.08.2022

Fördermittel

EUR 348.252,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Brenk Systemplanung GmbH

Projektleitung

Dr. O. Nitzsche

Fachbetreuung BfS

J. Dilling / UR 2

verantwortlich für den Text

Dr. O. Nitzsche

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen des ausgeschriebenen Forschungsvorhabens soll ein alternatives Berechnungsverfahren für eine Bewertung des Staubpfades im Vergleich zu den Vorgaben der Berechnungsgrundlagen Bergbau entwickelt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die zeitliche Variabilität der Staubfreisetzung soll im Rahmen des Projektes unter Berücksichtigung von meteorologischen Parametern untersucht werden.

Der zentrale Aspekt des Forschungsvorhabens ist es, die Resuspension, den anschließenden Transport und die Deposition von Staub zeitaufgelöst unter Berücksichtigung meteorologischer und ggf. stoffspezifischer Parameter zu berechnen. Ein geeignetes Modell hierfür ist ARTM (Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell). Das Modell ARTM benötigt als Eingabeparameter die Angabe eines Quellterms. Im Rahmen dieses Projektes soll einerseits abgeleitet werden, welche Parameter die Staubfreisetzung im Wesentlichen bestimmen. Andererseits soll mit diesen Informationen die Berechnung eines zeitaufgelösten Quellterms erarbeitet werden.

Neben der Entwicklung des Modellansatzes für die Staubfreisetzung sind auch experimentelle Untersuchungen unter definierten Umweltbedingungen zur Validierung des Modellansatzes im Forschungsvorhaben durchzuführen.

Das Vorhaben ist in die folgenden vier Arbeitspakete gegliedert:

- Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik (AP 1)
- Modellentwicklung für einen zeitaufgelösten Quellterm (AP 2)
- Experimentelle Validierung des Quellterms (AP 3)
- Vergleich zu Berechnungsgrundlagen Bergbau (AP 4).

3. METHODIK

3.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik wird zu Beginn der Arbeiten im Rahmen einer Recherche aufbereitet und dokumentiert. Aus den Ergebnissen dieser Recherche werden die einzubeziehenden Arbeiten ausgewählt. Des Weiteren wird Literatur ausgewertet, die Informationen liefert, welche

konkreten Szenarien der Staubfreisetzung beim Umgang mit Rückständen in Deutschland von Bedeutung sein können.

3.2 MODELLENTWICKLUNG FÜR EINEN ZEITAUFGELÖSTEN QUELLTERM

Es wird herausgearbeitet, welche Szenarien unter welchen Umweltbedingungen jeweils signifikante Beiträge zur Staubfreisetzung liefern. Es wird eine Softwareanwendung mit MS EXCEL erstellt, mit der die Ermittlung von Stundenwerten des Quellterms (Punkt, Linie, Fläche, Volumen) für die definierten Szenarien und die Erzeugung ARTM-kompatibler Eingabedateien erfolgen kann. Es wird ein Standard-satz generischer Parameter erarbeitet, welcher (unter Berücksichtigung von Randbedingungen) im Fall nicht vorhandener standortspezifischer Informationen angewendet werden kann und typische Bedingungen widerspiegelt.

3.3 EXPERIMENTELLE VALIDIERUNG DES QUELLTERMS

Zur Ermittlung der Abwehungen von Halden sind Windtunnelexperimente vorgesehen, bei denen die verschiedenen Materialien und Umweltbedingungen betrachtet werden. Für die weiteren, für den Quellterm relevanten Prozesse Abwurf/Aufnahme von Material und Auswirkungen von Fahrzeugbewegungen sind mikroskalige Experimente (Messungen von Staubkonzentrationen während der Prozesse) mit anschließenden Rückrechnungen auf die Quellstärke vorgesehen.

3.4 VERGLEICHSRECHNUNGEN

Es werden Emissions-, Ausbreitungs- und Dosisberechnungen für verschiedene fiktive Standorte in Deutschland durchgeführt. Die Ermittlung des Quellterms (Emissionsberechnung) erfolgt dabei mit Hilfe der in AP 2 und AP 3 ermittelten Modellansätze unter Verwendung der dazu erforderlichen meteorologischen Daten (s. u.). Als fiktive Standorte werden Standorte in den vom Deutschen Wetterdienst (DWD) im Rahmen des bis 2017 verwendeten Konzepts definierten TRY¹⁾-Klimaregionen verwendet. Hierbei handelt es sich um insgesamt 15 Regionen. Die Ermittlung der potenziellen Exposition soll möglichst realitätsnah erfolgen.

4. DURCHFÜHRUNG

AP 1 wurde entsprechend der in Abschnitt 5.1 dargestellten Ergebnisse abschließend bearbeitet. Die Bearbeitung von AP 2 erfolgt derzeit auf Basis der in Abschnitt 5.2 dargestellten Ergebnisse und wird demnächst abgeschlossen. Für die Durchführung der in AP 3 vorgesehenen experimentellen Arbeiten konnte eine geeignete Anlage ermittelt werden. Für AP 3 erforderliche Geräte wurden zusammengebaut.

5. ERGEBNISSE

5.1 ZUSAMMENFASSUNG DER LITERATURERCHE AP 1

In der Literaturrecherche wurden (im Wesentlichen zwei) unterschiedliche mathematische Darstellungsweisen zur Ermittlung des Emissionsfaktors identifiziert, die sich für eine zeitaufgelöste Modellierung grundsätzlich eignen können:

- Multiplikative Beschreibungen sowie additive Formeln. Die Modellparameter dieser Formeln sind mathematisch verhältnismäßig einfach durch multivariate lineare Regression zu bestimmen.
- Auf physikalisch begründeten Modellansätzen beruhende Formeln zur Bestimmung des Emissionsfaktors, insbesondere für die Erosion von ruhend gelagertem Material. Die größte Hürde zur praktischen Anwendung der physikalisch begründeten Modelle besteht in der Schwierigkeit, die erforderlichen Modellparameter (Stoffparameter) messtechnisch zu bestimmen.

¹⁾ Testreferenzjahre

Die in bergbaulichen Zusammenhängen am häufigsten verwendete Quelle für Emissionsfaktoren ist die Datensammlung AP 42 der US EPA¹⁾.

Die in der Literatur ermittelten Emissionsfaktoren sind anwendbar unter den Randbedingungen der Versuche bzw. Feldmessungen, für die sie ermittelt wurden. Liegen die meteorologischen und insbesondere die materialspezifischen Bedingungen außerhalb dieses Rahmens, ist eine Anwendbarkeit nicht mehr gegeben.

5.2 MODELLENTWICKLUNG FÜR EINEN ZEITAUFGELÖSTEN QUELLTERM (AP 2)

Aufbauend auf den Ergebnissen des AP 1 wurde ein Ansatz für die Formulierung eines zeitaufgelösten Quellterms für die Modellierung der Staubabwehung und -ausbreitung mittels ARTM abgeleitet.

Im Ergebnis des AP 1 wurde ein multiplikativer Ansatz des Quellterms mit potenzierten Parametern, wie er aus der Dokumentensammlung EPA AP 42 bekannt ist, als am besten geeignet ausgewählt. Es wurden folgende Korrekturen an der Grundform vorgenommen:

- Berücksichtigung einer Schwellgeschwindigkeit,
- Feuchtekorrektur,
- zeitliche Erschöpfung des abwehbaren Materials,
- Sättigungslänge der Abwehung.

Zur Ermittlung der Bodenfeuchte werden Stundenwerte meteorologischer Daten (Niederschlagsmenge, Luftfeuchte, Lufttemperatur, Sonnenscheindauer, Windrichtung und Windgeschwindigkeit sowie Luftdruck) aus Daten von Stationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) herangezogen. Zusätzlich werden hydrologische Parameter zur Beschreibung des Sättigungs-Saugspannungsverlaufs und der teilgesättigten hydraulischen Leitfähigkeit benötigt. Diese können aus einer Bodentypansprache aus der Literatur entnommen werden. Alle Daten werden in einer MS EXCEL-Datei zusammengefasst. In einem ersten Schritt erfolgt die Berechnung der potentiellen Verdunstung mit einem modifizierten Penman-Monteith-Ansatz für eine Stundenauflösung. Alternativ kann auf Daten der oberflächennahen Bodenfeuchte aus der Fernerkundung (Tageswerte) zurückgegriffen werden. Anschließend erfolgt die Berechnung der Bodenfeuchteverteilung durch iterative Lösung einer vereinfachten Richards-Gleichung unter Verwendung des Mualem-van Genuchten Ansatzes. Nach der iterativen Berechnung der Sättigungseffekte liefert die MS EXCEL-Datei unmittelbar die Stundenwerte der massenbezogenen Staubabwehung. Ausgewählte Parameter (z. B. Niederschlagsintensität und Windgeschwindigkeit) und Ergebnisse (berechnete potentielle Verdunstung, Feuchte der oberen Bodenschicht, Staubbefreiung) werden für den modellierten Gesamtzeitraum und einen ausgewählten Teilzeitraum graphisch dargestellt. Dabei werden vier verschiedene Größenklassen des aerodynamisch wirksamen Partikeldurchmessers berücksichtigt. Zusammen mit Angaben zu den Turbulenzbedingungen und den partikelgrößenklassenabhängigen spezifischen Aktivitäten im abwehbaren Material liefert die MS EXCEL-Datei unmittelbar eine Eingabedatei für das Computerprogramm ARTM.

5.3 EXPERIMENTELLE VALIDIERUNG DES QUELLTERMS (AP 3)

Für die experimentellen Arbeiten in AP 3 erfolgte die Auswahl einer geeigneten Halde und die Abstimmung mit dem Haldenbetreiber. Weiterhin wurden die erforderlichen Gerätschaften zusammengebaut. Dabei kam es durch die allgemeinen Lieferengpässe insbesondere bei elektronischen Bauteilen zu erheblichen Verzögerungen. Mittlerweile konnte der Bau abgeschlossen werden. Die experimentellen Arbeiten können abhängig vom Wetter nach Auftreten einer längeren Trockenphase durchgeführt werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

AP 2 wird in Kürze fertiggestellt. Der Bericht hierzu liegt dem Auftraggeber im Entwurf vor. Entsprechende MS EXCEL-Dateien mit Beispiel-Parametersätzen wurden dem Auftraggeber ebenfalls zu Verfügung gestellt. Die Durchführung der experimentellen Arbeiten sind für das erste Halbjahr 2022 vor-

¹⁾ United States Environmental Protection Agency

gesehen. Die Arbeiten zu AP 4 werden, soweit dies möglich ist, parallel begonnen. Es ist geplant, das Vorhaben 2022 abzuschließen.

Thema

Alters- und produktgruppenspezifische Auswertung der in Deutschland erhobenen Verzehrsdaten

Subject

Age- and product group-specific evaluation of food consumption data collected in Germany

Kennzeichen

3620S52550

Beginn

01.01.2020

Ende

31.12.2022

Fördermittel

EUR 138.650,-

Forschungs- / Auftragnehmer

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

Projektleitung

Dr. M.-T. Hussels

Fachbetreuung BfS

Dr. P. Hartmann,
Dr. A. Diener / UR 6

verantwortlich für den Text

Dr. M.-T. Hussels

1. ZIELSETZUNG

Im Zuge der Fortschreibung von Berechnungsvorschriften für Strahlenexpositionen sollen im Forschungsvorhaben die zur Ermittlung der Ingestionsdosis verwendeten alters- und lebensmittelgruppenspezifischen Verzehrsmengen aktualisiert und gegebenenfalls ergänzt werden.

Die nach dem Jahr 2000 in Deutschland durchgeführten Verzehrstudien sollen erfasst und die erhobenen Daten gemäß der in Anlage 11 Teil B Tabelle 1 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) aufgeführten Alters- und Lebensmitteleinteilung umgruppiert werden. Es sind statistische Kenndaten, insbesondere die gruppenspezifischen Mittelwerte und die 95. Perzentile der jährlichen Verzehrsmengen für sechs Altersklassen und bestimmte Lebensmittelgruppen gemäß StrlSchV, zu bestimmen. Zusätzlich sollen die Repräsentativität und Unsicherheit dieser Datensätze untersucht sowie mögliche Fehlerquellen bei der Umgruppierung der Daten aufgezeigt werden. Ebenso soll untersucht werden, wie stark regionale Verzehrsmengen von den nationalen Durchschnittswerten abweichen und ob sich langfristige Ernährungstrends abzeichnen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Rahmen des Vorhabens werden folgende technische Einzelziele verfolgt:

- Zusammenstellung und Auswahl der nach im Jahr 2000 in Deutschland durchgeführten Verzehrstudien
- Literaturrecherche zusätzlicher für die Umgruppierung relevante Informationen und Annahmen
- Beschaffung der Rohdaten und Vereinbarungen über die Nutzung mit den Datenhaltern
- Erstellung eines Konzepts zur Umgruppierung der Rohdaten entsprechend der in der StrlSchV vorgegebenen Lebensmittelgruppen
- Umgruppierung der Rohdaten der Verzehrstudien in die Lebensmittelgruppen gemäß StrlSchV und Ermittlung der jährlichen Verzehrdaten für diese Gruppen
- Umgruppierung bzw. Zusammenfassung der lebensmittelgruppenspezifischen Verzehrdaten in die durch die StrlSchV vorgegebenen sechs Altersgruppen
- Umgruppierung der Verzehrdaten in Regionen
- Analyse und Quantifizierung der jeweils bei der Umgruppierung entstehenden Unsicherheiten
- Analyse hinsichtlich geschlechtsspezifischer, altersbedingter, regionaler oder bezogen auf den Erhebungszeitraum stark abweichender Verzehrsmengen bei den einzelnen Lebensmittelgruppen

3. METHODIK

Die Arbeiten im Rahmen des Forschungsvorhabens werden in den folgenden drei Arbeitspaketen (AP) durchgeführt:

- Zusammenstellung der nach 2000 in Deutschland durchgeführten Verzehrstudien und Erstellung eines Konzepts zur Umgruppierung der Rohdaten entsprechend der in der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Lebensmittelgruppen (AP 1)
 - Zusammenstellung der nach 2000 in Deutschland durchgeführten Verzehrstudien und Beschaffung der Rohdaten (AP 1.1)
 - Erstellung eines Konzepts zur Umgruppierung der Rohdaten entsprechend der in der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Lebensmittelgruppen (AP 1.2)
- Umgruppierung der Rohdaten deutscher Verzehrstudien und Ermittlung der jährlichen Verzehrdaten für die in der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Lebensmittelgruppen (AP 2)
- Darstellung der lebensmittelgruppenspezifischen Verzehrdaten entsprechend der in der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Altersgruppen (AP 3)
 - Umgruppierung der lebensmittelgruppenspezifischen Verzehrdaten für die in der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Altersgruppen (AP 3.1)
 - Untersuchung regionaler Unterschiede der lebensmittelgruppenspezifischen Verzehrdaten (AP 3.2)
 - Auswertung der aktuellen deutschen Verzehrgeohnheiten gemäß der Alters- und Lebensmittelgruppierungen der Strahlenschutzverordnung (AP 3.3)

Dabei werden zunächst die Verzehrstudien und weitere Informationen zur Umgruppierung recherchiert sowie Kontakt zu den Datenhaltern aufgenommen, um die Rohdaten zu beschaffen (AP 1.1). Gemäß der erhältlichen Informationen und Daten wird ein Konzept zur Umgruppierung entsprechend den Vorgaben der StrlSchV erstellt (AP 1.2). Anschließend erfolgt die Umgruppierung der Daten in die vorgegebenen Lebensmittelgruppen, wobei die Ursprungsinformation in Bezug auf Geschlecht und Alter erhalten bleibt (AP 2). In einem weiteren Schritt werden die Umgruppierung in die in der StrlSchV vorgegebenen Altersgruppen (AP 3.1) sowie die Einteilung in Regionen (AP 3.2) vorgenommen, um geschlechtsspezifische, altersbedingte, regionale oder, bezogen auf den Erhebungszeitraum, stark abweichende Verzehrmenen bei einzelnen Lebensmittelgruppen zu identifizieren. Zum Schluss werden die geschlechtsspezifischen Gruppen aufgelöst und die Verzehrmenen für die Gesamtzahl der Teilnehmer*innen einer Altersgruppe angegeben und damit endgültig in die Gruppierungen gemäß StrlSchV überführt (AP 3.3).

4. DURCHFÜHRUNG

Im AP 1 wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, in der die relevanten Studien zusammengestellt und die Nutzbarkeit der vorhandenen veröffentlichten Informationen - wie Lebensmittel- und Altersgruppen, Informationen zu Regionen und zeitlichen Trends sowie der angegebenen statistischen Kenndaten - für die Umgruppierung analysiert wurden. Diese Recherche umfasste die 2. Nationale Verzehrstudie (NVS II), die sich anschließende Längsschnittstudie NEMONIT sowie zwei Regionalstudien, die 2. Bayerische Verzehrstudie (BVS II) und die 2. Sächsische Verzehrstudie (SVS II). Speziell in Bezug auf Kinder sind die Studien „VELS“ / „KIESEL“ für die jüngeren Kinder und „EsKiMo I“ / „EsKiMo II“ für ältere Kinder und Jugendliche sowie die DONALD-Studie als Langzeit-Kohorten-Studie relevant. Zusätzlich wurden Informationsquellen für ggf. zu treffende Annahmen bei der Umgruppierung recherchiert.

Zur Beschaffung der benötigten Studiendaten wurde über den Auftraggeber Kontakt zu den Datenhaltern der Studiendaten aufgenommen und die Modalitäten zur Datenaufbereitung sowie Datenübergabe herausgearbeitet bzw. entsprechende Vereinbarungen mit den Datenhaltern getroffen.

Auf Grundlage der vorhandenen Daten und der verfügbaren Informationen sowie Aufbereitungen durch die Datenhalter wurde das Konzept zur Umgruppierung in die geforderten Lebensmittelgruppen

erarbeitet. Im Allgemeinen sieht dieses vor, dass die in den Studien erfassten Lebensmittel/Lebensmittelgruppen zunächst möglichst in Rohprodukte aufgeteilt und anschließend in die in der StrlSchV geforderten Gruppen aggregiert werden. Der erste Schritt sollte hierbei durch die Datenhalter erfolgen, welche über Informationen zu Rezepten und Verarbeitungsschritten verfügen. Der zweite Schritt wird nach Möglichkeit in Zusammenarbeit mit den Datenhaltern durchgeführt. Die Vorgehensweise wurde im Einzelnen für die jeweiligen Studien angepasst.

5. ERGEBNISSE

Im Rahmen des AP 1 wurde ein Konzept zur Umgruppierung der Studiendaten erstellt. Es wurde Kontakt zu den Datenhaltern aufgenommen und Vereinbarungen über die Datenübermittlung und Datennutzung getroffen. Die Ergebnisse des AP 1 wurden in einem Konzeptbericht dokumentiert und dem BfS zugesandt.

Durch die getroffenen Vereinbarungen können Rohdaten bzw. bereits entsprechend aufbereitete und gruppierte Daten für die NVS II, die VELs-Studie (ggf. die KiESEL-Studie) und die DONALD-Studie bereitgestellt werden. Die Rohdaten der SVS II sowie ausreichend detaillierte Daten der BVS II liegen vor. Weitere Vereinbarungen zur Nutzung der Daten aus den EsKiMo-Studien werden derzeit getroffen.

Als maßgeblich für die in der StrlSchV angegebenen Verzehrdaten (Erwachsener) wurde die NVS II identifiziert. Zusammen mit den Daten der VELs- (bzw. KiESEL-)Studie und der DONALD-Studie können alle Altersgruppen abgedeckt werden. Weiterhin erlauben die Studien die geschlechtsspezifische und regionale Betrachtung von Verzehrdaten. Die DONALD-Studie für Kinder und Jugendliche ist als Langzeit-Kohortenstudie zusammen mit der Längsschnittstudie NEMONiT für Erwachsene besonders geeignet für die Beobachtung zeitlicher Trends.

In Bezug auf die gemeinsamen Arbeiten zur Umgruppierung der Daten der NVS II und der VELs-Studie im AP 2 wurde ein Vorschlag für eine abschließende Version der Zuordnungen an die Datenhalter übersandt und befindet sich in der finalen Abstimmung. Diese wird bereits Einteilungen in die Altersgruppen der StrlSchV und Regionalinformationen enthalten für die Bearbeitung von AP 3.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Umgruppierung der Verzehrdaten der ausgewählten Studien in die Lebensmittelgruppen und Altersgruppen der StrlSchV wird im Rahmen von AP 2 und AP 3 fortgeführt. Zunächst wird dabei auch die Einteilung nach Geschlecht beibehalten. Weiterhin werden - wenn möglich - Einteilungen der Verzehrdaten in Regionen vorgenommen. Insgesamt werden die Verzehrdaten hinsichtlich geschlechtsspezifischer, altersbedingter, regionaler oder, bezogen auf den Erhebungszeitraum, stark abweichender Verzehrdaten bei einzelnen Lebensmittelgruppen analysiert.

Die Ergebnisse werden im Kontext aller im Forschungsvorhaben untersuchten Erhebungen zur Ermittlung der aktuellen deutschen Verzehrgeohnheiten zusammengestellt und die Verzehrdaten abschließend in die Gruppierungen gemäß Anlage 11 Teil B Tabelle 1 StrlSchV überführt.

3.6 Themenbereich 06
Notfallschutz

3.6 *Subject area 06*
Emergency management

Thema			
Erweiterung des Anwendungsbereichs der Werkzeuge zur Kombination anlagentechnischer und radiologischer Informationen zur Einschätzung von Freisetzungen			
Subject			
<i>Enhancement of the application range for tools which combine plant and radiological information to assess radioactive releases</i>			
Kennzeichen 3620S62501	Beginn 09.11.2020	Ende 31.03.2023	Fördermittel EUR 490.275,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung Dr. M. Sogalla	Fachbetreuung BfS Dr. T. Hamburger / RN 2		verantwortlich für den Text Dr. M. Sogalla

1. ZIELSETZUNG

Zur Wahrnehmung seiner Aufgaben im GRS-Notfallzentrum stützt sich das Team S (Strahlenschutz) der GRS im Wesentlichen auf seine Fachkompetenz. Mit dem Ende 2019 abgeschlossenen Forschungsvorhaben 3616S62550 „Ausbau der wissenschaftlichen und technischen Basis für die Aufgaben des Teams ‚Strahlenschutz‘ im Notfallzentrum der GRS“ wurde diese Kompetenz für die Entwicklung und den Ausbau einer schnell und effizient nutzbaren wissenschaftlichen Basis von Informationen und Methoden genutzt. Die im Vorläufervorhaben 3616S62550 konzipierten Methoden sollen im Forschungsvorhaben 3620S62501 mit dem Schwerpunkt auf Ereignisse in grenznahen und europäischen ausländischen Anlagen sowie auf das gesamte Spektrum potenzieller radiologischer Notfallsituationen weiterentwickelt und in einer anwenderfreundlichen Benutzerumgebung zusammengeführt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Für eine Reihe von im Vorhaben 3616S62550 behandelten Aspekten werden Forschungsarbeiten weitergeführt und wissenschaftliche Methoden weiterentwickelt. Dies betrifft insbesondere die folgenden Einzelziele:

- Auf Basis der im Vorläufervorhaben erarbeiteten Methodiken zur Bewertung der radiologischen Situation in der Anlage bei schweren Unfallabläufen soll geprüft werden, inwiefern sich für ausländische kerntechnische Anlagen auch bei eingeschränkter Verfügbarkeit von Informationen bei einem Unfall Aussagemöglichkeiten bzgl. der radiologischen Situation ableiten lassen. Darauf aufbauend sollen vereinfachte Bewertungshilfen konzipiert werden.
- Die Grundversion des im Vorläufervorhaben erarbeiteten Verfahrens zur Nutzung kombinierter radiologischer und anlagentechnischer Informationen für die Diagnose und Prognose des Unfallablaufs soll um die folgenden Punkte erweitert werden:
 - Das integrierte Verfahren zur Quellterm-Rückrechnung soll um eine Einkopplungsmöglichkeit für externe Ausbreitungsmodelle erweitert werden.
 - Die Datenbasis soll in Bezug auf globale Anwendbarkeit ausgebaut werden. Dazu gehört auch die Integration von online verfügbaren Messdaten.
 - Der Anwendungsbereich soll um ein Zusatzmodul zur Abschätzung des Freisetzungsorts erweitert werden.
 - Die zur gemeinsamen Bewertung von radiologischen und anlagentechnischen Informationen geschaffene Schnittstelle zu anlagenbasierten Quelltermprognosen soll auf vereinfachte Prognosemöglichkeiten für ausländische Anlagen erweitert werden.

- Die Quelltermmodellierung soll um ein Modul zur Abschätzung der Freisetzung von Radionukliden aus kontaminierten Gebieten durch Flur- und Waldbrände erweitert werden.
- Die im Vorläufervorhaben entwickelten Methodiken zur Ermittlung notfallschutzrelevanter Freisetzungen für nicht-nukleare radiologische Notfallsituationen sollen in ein gemeinsames Verfahren zur szenarienübergreifenden Bewertung notfallschutzrelevanter Freisetzungen integriert werden. Das zugehörige matrixbasierte Verfahren zur optimierten Nutzung von Informationen soll auf alle Typen nuklearer und radiologischer Notfallsituationen erweitert werden.
- Zur Verbesserung der Anwendbarkeit für das Team S im Notfallzentrum der GRS soll für alle Verfahren eine gemeinsame Benutzeroberfläche konzipiert und in Schulungen und Übungen erprobt werden.

3. METHODIK

Die Methodik zur Erweiterung des Anwendungsbereichs gliedert sich für jedes der Einzelziele, die in Abschnitt 2 erläutert sind, in die folgenden Schritte:

- Der jeweils relevante Kenntnisstand wird recherchiert, zusammengestellt und für das Vorhaben aufbereitet.
- Die Erkenntnisse und Methoden werden im Hinblick auf ihre Nutzungsmöglichkeiten und -grenzen für die Aufgaben des Teams S ausgewertet und ggf. ergänzt.
- Für die Arbeiten des Teams S werden die relevanten Informationen und Methoden in handhabbaren Unterstützungssystemen zusammengefasst. Die erstellten Werkzeuge werden soweit möglich und zielführend als Excel®-Arbeitsmappen mit unterlegtem VBA-Code realisiert und in eine gemeinsame Benutzeroberfläche mit einem einheitlichen Datenmanagement integriert.
- Um einen effizienten Einsatz der erstellten Arbeitshilfen und Werkzeuge zu ermöglichen, werden Anwendungshilfen und Schulungsunterlagen erstellt. Die Anwendung wird in Schulungen vermittelt.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben ist in die folgenden Arbeitspakete 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 (AP 2)
 - Aussagemöglichkeiten zur radiologischen Situation in ausländischen Anlagen (AP 2.1)
 - Konzeption Bewertungshilfe für ausländische Anlagen (AP 2.2)
- Wissenschaftliche Basis zur Nutzung kombinierter radiologischer und anlagentechnischer Informationen für die Diagnose und Prognose des Unfallablaufs (AP 3)
 - Erweiterung des integrierten Verfahrens zur Quelltermrückrechnung (AP 3.1)
 - Erweiterung der radiologischen Datenbasis und der zugehörigen Datenschnittstellen (AP 3.2)
 - Ausbau der gemeinsamen Bewertung von radiologischen und anlagentechnischen Informationen für Ereignisse im Ausland (AP 3.3)
 - Modul zur Quelltermabschätzung bei Flächenbränden in kontaminierten Gebieten (AP 3.4)
- Vereinheitlichung der wissenschaftlichen Basis zur Ermittlung relevanter Freisetzungen (AP 4)
 - Ergänzung der Wissensbasis für die Referenzszenarien 0-9 (AP 4.1)
 - Ausbau des generalisierten Verfahrens zur Abschätzung notfallschutzrelevanter Freisetzungen (AP 4.2)

- Integration aller Werkzeuge in eine gemeinsame Benutzeroberfläche (AP 5)
 - AP 5.1 Gemeinsames Datenmanagement für alle Verfahren (AP 5.1)
 - AP 5.2 Zusammenführung aller Verfahren und Ausbau der Benutzeroberfläche (AP 5.2)
 - AP 5.3 Erprobung und Schulung (AP 5.3)
- Projektmanagement und Projektcontrolling (AP 6)

5. ERGEBNISSE

- Im AP 1 wird der für das Vorhaben relevante Stand von Wissenschaft und Technik dokumentiert. Zu diesem Zweck wurden aufgabenbezogene Recherchen durchgeführt und dokumentiert, insbesondere zu Messnetzen zur radioaktiven Überwachung, zu Plattformen zur Überwachung der Umwelt-radioaktivität und zu Datenbanken zu spezifischen Umweltdaten. Des Weiteren wurden Modellansätze zur Simulation von Waldbränden recherchiert und für die Nutzung im AP 3 aufbereitet.
- Im AP 2 wurde die Wissensbasis zur radiologischen Situation bei Unfällen in deutschen Anlagen tabellarisch zusammengestellt und nach thematischen Gesichtspunkten in Bezug auf ihre Übertragbarkeit auf ausländische Anlagen aufgegliedert.
- Im AP 3 wurde zur Einkopplung externer Ausbreitungsmodelle ein statistisches Verfahren zur Abschätzung des Wolkenalters auf Basis der Konzentration von Nukliden mit unterschiedlichen Zerfallszeiten konzipiert, das durch Vergleich mit direkt simulierten Wolkenformen mit definierter Freisetzungszeit kalibriert werden soll. Zu diesem Zweck wurden umfangreiche Vergleichsdatensätze erzeugt, die mit dem Atmosphärischen Radionuklid-Transportmodell (ARTM) berechnet wurden (AP 3.1). Zur Erweiterung der radiologischen Datenbasis und der zugehörigen Datenschnittstellen wurde exemplarisch für das NADAM-Messnetz (CH) eine Prototyp-Routine zum automatisierten Online-Abruf und der automatischen Datenhaltung erstellt und getestet (AP 3.2). Zum Ausbau der gemeinsamen Bewertung von radiologischen und anlagentechnischen Informationen für Ereignisse im Ausland wurde ein leitfragenbasiertes Vergleichsschema konzipiert (AP 3.3). Zur Quelltermabschätzung bei Flächenbränden in kontaminierten Gebieten wurde ein Werkzeug erstellt, das unter Einbindung von Echtzeit-Satellitendaten des „Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer“ (MODIS, 1 km Auflösung) der NASA für ein gewähltes Gebiet und einen gewählten Zeitraum auf einem variabel vorgebbaren Flächengitter Verteilungen der Feuerintensität, Brandtemperatur und Überhöhung berechnet. Das Verfahren wurde für die Brandperiode im April 2020 um das Kernkraftwerk Tschernobyl erfolgreich getestet (AP 3.4).
- Im AP 4 wurden zur Ergänzung der Wissensbasis für die Referenzszenarien 0-9 der Kritikaliätsunfall in Tokai-Mura im Jahr 1999 und ein Unfall bei der Handhabung von Quellen (irrtümliches Aufschneiden einer Quelle) nach dem im Vorläufervorhaben entwickelten Schema analysiert (AP 4.1). Das generalisierte Verfahren zur Abschätzung notfallschutzrelevanter Freisetzungen wurde um Überlegungen zum Einfluss potenzieller Verletzungen von Sicherheitsvorschriften auf Ereignisabläufe ergänzt (AP 4.2).
- Im AP 5 wurden zum Aufbau eines gemeinsamen Datenmanagements für alle Verfahren eine einheitliche Datenstruktur für die Vorhaltung, Aktualisierung und Weiterverarbeitung von Mess- und Modelldaten erarbeitet und die entsprechenden Lese- und Schreibroutinen programmiert (AP 5.1). Zur Zusammenführung aller Verfahren wurden Methoden zur Ansteuerung und Ergebnisbearbeitung dezentral gehaltener Werkzeuge und Routinen entwickelt und getestet. Diese Methoden werden zur Verschaltung unterschiedlicher Werkzeuge und zur automatisierten sequenziellen Abarbeitung komplexer Berechnungsvorgänge genutzt. In diesem Rahmen wurden Einkopplungsmöglichkeiten für Variationen von externen Antriebsdaten geschaffen, die Ensemble-Rechnungen zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in den Eingangsdaten ermöglichen (AP 5.2).

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die geplante Weiterarbeit konzentriert sich auf den Ausbau und die Fertigstellung der Arbeitshilfen und Werkzeuge, die Integration in die gemeinsame Benutzeroberfläche und die anschließende Schulung der erarbeiteten Verfahren.

Thema			
Weiterentwicklung des RODOS-Moduls „Dosisrekonstruktion“ zur Dosisabschätzung basierend auf Umwelt-Messdaten nach einem radiologisch relevanten Ereignis mit Hilfe von fortgeschrittenen Interpolationsmethoden			
Subject			
<i>Further development of the RODOS module "Dose Reconstruction" for dose estimation based on environmental measurement data after a radiologically relevant event using advanced interpolation methods</i>			
Kennzeichen 3620S62593	Beginn 15.02.2021	Ende 31.01.2022	Fördermittel EUR 267.580,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung Dr. C. Richter	Fachbetreuung BfS Dr. K. Meisenberg / RN 2		verantwortlich für den Text Dr. C. Richter

1. ZIELSETZUNG

Aufgabe des Radiologischen Lagezentrums des Bundes (RLZ) ist es, im radiologischen Notfall Dosisabschätzungen für die betroffene Bevölkerung auf der Basis von Umwelt-Messdaten bereitzustellen. Für diesen Zweck wurde in den letzten Jahren das Entscheidungshilfesystem RODOS um das Modul „Dosisrekonstruktion“ erweitert. Dieses bereits bestehende Modul führt auf der Basis von aktuellen Umwelt-Messdaten wie ODL-Messungen, Luftaktivitäts- und Bodenkontaminationsmessungen unabhängig von Ausbreitungsmodellierungs-Ergebnissen Dosisabschätzungen durch.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Rahmen dieses Vorhabens werden die Eingangsdaten des bestehenden RODOS-Moduls „Dosisrekonstruktion“ weiterentwickelt, indem bereits vor der Dosisrekonstruktion die Umwelt-Messdaten, insbesondere der Ortsdosisleistung (ODL) auf ein definiertes Zielgitter interpoliert werden. Dabei werden auch fortschrittliche geostatistische Methoden angewendet, die neben dem interpolierten Wert eine Unsicherheits-Abschätzung für den interpolierten Wert ermöglichen. Werden diese interpolierten Daten im Anschluss im Dosisrekonstruktionsmodul verwendet, können damit genauere Dosisabschätzungen für die betroffene Bevölkerung durchgeführt werden.

3. METHODIK

Die in diesem Vorhaben angewendete Methodik richtet sich an den Schwerpunkten der drei Arbeitspakete aus. Im Arbeitspakt 1 „Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik“ wird eine Literaturrecherche durchgeführt. Die Ergebnisse werden für den Auftraggeber sowohl in Form von Präsentationen für Projektgespräche per Videokonferenz als auch für einen AP 1-Ergebnisbericht aufbereitet.

Auf der Grundlage der Rechercheergebnisse wird mit dem Auftraggeber entschieden, welche geostatistischen und deterministischen Interpolationsverfahren im weiteren Projektverlauf zunächst testweise implementiert und näher untersucht werden sollen. Diese Implementierung innerhalb des AP 2 „Auswahl, Entwicklung und Implementierung eines geeigneten Interpolationsverfahrens“ erfolgt in der Programmiersprache C++ mit der Entwicklungsumgebung Visual Studio (VS). Dazu gehört, dass Softwarebibliotheken für die numerische Lösung von vieldimensionalen Gleichungssystemen eingebunden werden und eigene Algorithmen, beispielsweise für die Nachbarschaftssuche entwickelt und optimiert werden. Tests werden sowohl auf den Windows-Arbeitsplatzrechnern, auf virtuellen Linux-Maschinen und auf dem Linux-HPC-Cluster der Auftragnehmerin durchgeführt. Letzteres dient insbesondere dazu,

die Parallelisierungsansätze der Routinen zu testen und zu optimieren. Zusätzlich wird die Software Para View für Visualisierungen verwendet und mittels der Skriptsprache Python (ebenfalls in der VS-Entwicklungsumgebung) weitere Verifikations-, Auswerte- und Visualisierungs-Routinen umgesetzt. Die für die Implementierung und Tests dieses AP 2 nötigen Testdatensätze werden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Auch in diesem Arbeitspaket, das in der Implementierung der neuen Interpolationsroutinen auf der Rechner-Infrastruktur des Auftragnehmers mündet, finden Videokonferenzen zur Abstimmung statt.

Das dritte Arbeitspaket „Validierung des in AP 2 implementierten Verfahrens“ beinhaltet umfangreiche Validierungen, die mit den bereits verfügbaren und zusätzlichen Datensätzen des Auftraggebers durchgeführt werden. Die Eingangsdaten werden hier insbesondere so aufbereitet, dass der Ausfall von Messstationen und damit der Einfluss von Datenlücken untersucht werden kann. Dies setzt den Umgang mit Datenbanken im SQLite-Format voraus, in dem im Anwendungsfall die Messdaten zur Verfügung gestellt werden. Die Ausgabedaten der Interpolationsroutine, die als Input der Dosisrekonstruktion dienen, werden ebenfalls in eine SQLite-Datenbank geschrieben. Die SQLite-Schnittstellen werden in C++ umbesetzt, Analyseprogramme wiederum sowohl in C++ als auch in Python.

Die Erkenntnisse und Ergebnisse von AP 2 und AP 3 werden wiederum in Arbeitspaketberichten beziehungsweise dem Abschlussbericht zusammenfassend dargestellt.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung dieses Vorhabens richtet sich nach der im Abschnitt 2 erläuterten Methodik. Die Arbeitspakete 1 und 2 wurden innerhalb des Berichtszeitraumes abgeschlossen. Insgesamt wurden sieben Projektgespräche per Videokonferenz durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

Auf Grundlage der Literaturrecherche und der Abstimmungsgespräche wurden innerhalb des AP 1 zwei Interpolationsmethoden identifiziert, die im Vorhaben zur Weiterentwicklung des RODOS-Moduls „Dosisrekonstruktion“ weiterverfolgt werden sollten. Dabei handelt es sich um ein deterministisches Verfahren, die sogenannte Shepards-Methode und das Ordinary Kriging.

Die Shepards-Methode basiert auf der inversen Distanzwichtung (IDW). Durch gezielte, auf die Messwerte angewendete Operatoren wird bei der Shepards-Methode der sogenannte Bull's Eye-Effekt der gewöhnlichen IDW vermieden. Die Methode wurde implementiert, umfangreich getestet und optimiert. Dabei wurde insbesondere ein Verfahren entwickelt, um mit Hilfe von First-Guess-Simulationen eine sogenannte Barriere zwischen kontaminierten und nicht kontaminierten Bereichen einzuführen. Dadurch wird ermöglicht, dass bei der Interpolation die unterschiedlichen Bereiche sich gegenseitig weniger stark beeinflussen, wodurch realitätsnähere Ergebnisse erzielt werden können.

Das Ordinary Kriging wurde ebenfalls implementiert, umfangreich getestet und optimiert. Zu frühen Zeitpunkten einer Freisetzung erweist sich das Ordinary Kriging allerdings als unbrauchbar für die Interpolation, da kein zuverlässiges Semi-Variogramm bei der dann noch geringen Datenanzahl und damit schwacher Statistik erstellt werden kann. Zudem liegen extreme Gradienten in den wenigen von der Ausbreitung betroffenen Messwerten vor. Nach Wolkendurchzug kann die Methode angewendet werden, wobei auch dann noch gezielte Datentransformationen vor und nach der Interpolation nötig sind, um der extremen Spanne der Messdaten über mehrere Größenordnungen hinweg und der Verteilung fern ab von einer, in der Theorie der Geostatistik angenommenen Gaußverteilung gerecht zu werden. Umfangreiche Tests zur Trans-Gaussian Box-Cox-Transformation und einer einfacheren Lognormal-Transformation führten zu dem Ergebnis, dass die komplizierte, rechenintensive Box-Cox-Transformation im gegebenen Anwendungsfall keinen Mehrwert erwarten lässt und bereits eine Lognormal-Transformation ausreichend ist. Ebenfalls durch umfangreiche Testreihen wurde es ermöglicht, dass die Kriging-Interpolationsroutine automatisiert Semivariogramme erstellt. Dafür wurden im Zuge der Datenaufbereitung für das Binning bzw. Anzahl der Datenpunkte pro Bin optimierte Werte ermittelt. Für die darauf aufbauende Modellierung des Semivariogramms wurden die Startwerte für Sill, Nugget und Range und das gewählte Anpassungsmodell der Fit-Routinen optimiert.

Neben der Interpolation der stationären Messwerte wurden die mobilen Messdaten in die Interpolationsverfahren eingebaut. Eine Methode wurde etabliert, die mobilen Messdaten, die für jeden angefahrenen Ort ja nur zu einem einzigen Zeitpunkt vorliegen, zeitlich zu extrapolieren. Mit der dann wesentlich höheren räumlichen Abdeckung mit (zeitlich extrapolierten) Messwerten können die Interpolationsergebnisse in der Nach-Wolken-Phase wesentlich verbessert werden.

Zudem wurde aufbauend auf der zeitlichen Extrapolation der mobilen Daten eine Methodik entwickelt und getestet, die Wolkendurchgangszeiten auch an Orten abschätzen bzw. interpolieren zu können, die von den stationären Messstationen „übersehen“ werden, da die Wolke zwischen diesen durchtunnelt. Erst durch spätere mobile Messungen wird dann festgestellt, dass die Wolke an diesen Stellen vorbeigezogen sein muss, da eine Kontamination mittels der mobilen Messungen nachgewiesen wird.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Bearbeitung des AP 3, also die Validierung der Methoden, wird fortgeführt. Mit Abschluss des AP 3 und einem zusammenfassenden Abschlussbericht endet das Vorhaben.

Thema

Analyse von Gamma-Spektren unter Anwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz

Subject

Artificial Intelligence based Methods for the Analysis of Gamma Spectra

Kennzeichen

3620S62594

Beginn

01.06.2020

Ende

31.01.2023

Fördermittel

EUR 347.544,-

Forschungs- / Auftragnehmer

ENVINET GmbH, Haar

Projektleitung

Dr. H. Breitkreutz

Fachbetreuung BfS

Dr. M. Bleher / RN 4

verantwortlich für den Text

Dr. H. Breitkreutz

1. ZIELSETZUNG

Zur Bewältigung von radiologischen Notfällen unterhält das BMUV ein radiologisches Lagezentrum des Bundes (RLZ). Das BfS ist Bestandteil des RLZ und liefert den für die Lagebewertung wichtigen Lagebericht. Dabei ist die sogenannte Messzentrale zuständig für die Zusammenführung von Messdaten der Bundes- und Ländermesssysteme, bestehend aus stationären, mobilen und Labor-Systemen.

Aktuell betreibt das BfS spektroskopische Sonden, die zusätzlich zur Messung der Ortsdosisleistung (ODL) nuklidspezifische Informationen liefern. Verfügbar sind bereits Systeme auf LaBr3- bzw. auf CdZnTe (CZT)-Basis mit Energieauflösungen von ca. 2,5 bzw. 1,5 Prozent. Installiert sind diese Systeme insbesondere in der Nähe kerntechnischer Anlagen. Damit wird erreicht, dass in der Frühphase eines Unfalls die relevanten Messinformationen zum freigesetzten Nuklidgemisch zeitnah zu Verfügung stehen und somit sichergestellt ist, dass die Beiträge dominanter Radionuklide zur Exposition bereits während der Wolkendurchzugsphase zuverlässig abgeschätzt werden können. Auch in einer frühen Unfallphase, in der mobile Messteams nicht eingesetzt werden sollten, soll die Verfügbarkeit der wesentlichen Information zur optimierten Lagedarstellung und zum frühzeitigen Ergreifen von relevanten Maßnahmen sichergestellt werden.

Die Spektren werden aktuell sowohl mit Hilfe kommerzieller Analysewerkzeuge wie auch einer operationellen Spektrumauswertenumgebung automatisch analysiert, in die weitere Peak-basierende Verfahren wie auch die sogenannte Full-Spektrum-Methode integriert sind.

Obwohl somit im RLZ ein operationelles Verfahren besteht, setzen diese Methoden voraus, dass die Ergebnisse der Spektrenanalyse von Experten individuell auf Korrektheit überprüft werden. Wegen der Vielzahl an Spektren, die von derzeit mehr als 50 stationären und ca. 20 mobilen Messsystemen im Stunden- bzw. 10 Minuten-Takt erzeugt werden, muss sowohl im Routinebetrieb wie auch bei einer möglichen Freisetzung von Radionukliden in die Umwelt eine Vorauswahl für eine Detailanalyse relevanter Spektren durch Experten getroffen werden. Um diese Experten künftig entlasten zu können, sollen Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) zur Klassifizierung von Spektren konzipiert und entwickelt werden.

Ein ähnliches Anwendungsgebiet besteht auch bei der Prüfung der Daten von konventionellen ODL-Sonden auf Plausibilität. Hier besteht die tägliche Routineaufgabe darin, die Zeitreihen von ODL-Daten auf Grund bekannter Fehlertypen zu sichten, z. B. technische Einflüsse elektromagnetischer Störungen auf die Messergebnisse zu erkennen und diese Daten als unplausibel zu maskieren.

Ein drittes Anwendungsgebiet besteht bei der Erkennung niederschlagsbedingt erhöhter Messwerte durch kurzzeitige Auswaschungsprozesse natürlicher Radionuklide und deren Abgrenzung von Hinweisen auf künstlich erhöhte Umweltradioaktivität. Ziel ist die Erkennung künstlicher Radioaktivität mit Hilfe des ODL-Messnetzes des BfS zur Sicherstellung der sogenannten Frühwarnfunktion. Nach Auslösung eines Voralarms nimmt die Rufbereitschaft des ODL-Messnetzes den Dienst auf und prüft die Zeitreihen auf natürlich bedingte Effekte. Im Verlauf eines Jahres werden mehr als 100 Voralarme ausgelöst. Die Zeitverläufe und die räumliche Ausdehnung dieser niederschlagsbedingten Ereignisse zei-

gen charakteristische Merkmale, die von der Rufbereitschaft dazu genutzt werden, um künstlich bedingte Effekte auszuschließen. Auch bei der Prüfung von ODL-Daten auf technische Störungen wie bei der Bearbeitung von Voralarmen besteht die Aufgabe in der Klassifizierung von Zeitverläufen der ODL, und folglich handelt es sich um weitere bevorzugte Anwendungsfälle der Methoden der künstlichen Intelligenz.

Für alle drei Anwendungsgebiete soll im Rahmen des Forschungsvorhabens eine Gesamtstrategie bei der Bewältigung von radiologischen Ereignissen unter Anwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz erarbeitet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

Das erste Arbeitspaket beinhaltet die Sichtung des aktuellen Wissensstands bei der Anwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz auf die quantitative und qualitative Analyse von Gamma-Spektren (Literaturrecherche). Dabei sind sowohl Ergebnisse unter Anwendung von Detektoren mit hoher wie auch mittlerer Energieauflösung zu berücksichtigen. Zu betrachten sind die Methoden, welche Algorithmen mit einer Klasse („one-class classification“) oder mehreren Klassen („multi-class classification“) anwenden. Bei Algorithmen, die auf einer Klasse beruhen, spricht man auch von Anomalitäten-erkennung („anomaly detection“). In diesem Fall wird mit Hilfe unterschiedlicher Verfahren die Wahrscheinlichkeit beschrieben, ob ein Zustand als normal bezeichnet werden kann oder nicht. Die Eigenschaften dieser Verfahren sind zu betrachten und darzustellen.

2.2 VORALARMKRITERIEN (AP 2)

Entwicklung eines Klassifizierungssystems für die Erkennung von niederschlagsbedingten Erhöhungen von Messwerten konventioneller ODL-Sonden zur Anwendung bei der Bearbeitung von Voralarmen im ODL-Messnetz.

Als Input-Parameter stehen 10-min- und 1-min-ODL-Daten von ca. 1 800 ODL-Messstellen für die Dauer von mehr als 10 Jahren zur Verfügung. Die in den letzten 10 Jahren aufgetretenen Voralarme sind in der Datenbank enthalten.

Es sind Methoden auszuwählen und zu beschreiben, mit deren Hilfe die Voralarme klassifiziert werden können. Ferner ist ein Vorschlag zu erarbeiten, welche Methoden verwendet werden sollen, um einen entsprechenden Algorithmus softwaretechnisch abzubilden. Und schließlich sind die ausgewählten Algorithmen zu implementieren und anzuwenden.

2.3 PLAUSIBILITÄT VON ODL-DATEN (AP 3)

Entwicklung eines Klassifizierungssystems für die Plausibilisierung von Daten konventioneller ODL-Sonden.

Als Input-Parameter stehen 10-min- und 1-min-ODL-Daten von ca. 1 800 ODL-Messstellen für die Dauer von mehr als 10 Jahren zur Verfügung. Die möglicherweise auftretenden technischen Störungen sind z. B. Windeffekt, elektromagnetische Störungen etc. und sind in den Erläuterungen des Internetauftritts von ODL-Info beschrieben.

Es ist eine Liste sämtlicher technischer Störungen zu erstellen. Diese dient zur „Gruppierung der Störungen“. Ferner sind Methoden auszuwählen und zu beschreiben, mit deren Hilfe Störungen gemäß der „Gruppe der Störungen“ klassifiziert werden können. Und schließlich ist ein Vorschlag zu erarbeiten, welche Methoden verwendet werden sollen, um einen entsprechenden Algorithmus softwaretechnisch abzubilden. Die ausgewählten Algorithmen sind zu implementieren und anzuwenden.

2.4 ENERGIEKALIBRIERUNG VON LABR3-SPEKTREN (AP 4)

Entwicklung eines Klassifizierungssystems für die Erkennung von Abweichungen der Energiekalibrierung von Spektren spektroskopischer ODL-Sonden, basierend auf LaBr₃-Detektoren, zur routinemäßigen Anwendung bei der Analyse von Spektren.

Als Input-Parameter stehen 10-min-Spektren von ca. 10 ODL-Messstellen und ca. 40 stationären In-situ-Messstellen für die Dauer von mehr als 2 Jahren zur Verfügung. Zusätzlich sind die Analyseergebnisse der operationellen Auswertumgebung von Spektren in der Datenbank enthalten.

Es sind Methoden auszuwählen und zu beschreiben, mit deren Hilfe eine Kompensation der Drift der Energiekalibrierung der Spektren erreicht werden kann.

2.5 NIEDERSCHLAGSERKENNUNG VON LABR3-SPEKTREN (AP 5)

Entwicklung eines Klassifizierungssystems für die Erkennung von niederschlagsbedingten Erhöhungen von Messwerten spektroskopischer ODL-Sonden, basierend auf LaBr3-Detektoren, zur routinemäßigen Anwendung bei der Analyse von Spektren.

Als Input-Parameter stehen 10-min-Spektren von ca. 10 ODL-Messstellen und ca. 40 stationären In-situ-Messstellen für die Dauer von mehr als 2 Jahren zur Verfügung. Zusätzlich sind die Analyseergebnisse der operationellen Auswertumgebung von Spektren in der Datenbank enthalten. Darüber hinaus sind die Ergebnisse der Methoden der Kompensation der Drift der Energiekalibrierung anzuwenden.

Es sind Methoden auszuwählen und zu beschreiben, mit deren Hilfe die Spektren klassifiziert werden können. Ferner ist ein Vorschlag zu erarbeiten, welche Methoden verwendet werden sollen, um einen entsprechenden Algorithmus softwaretechnisch abzubilden. Und schließlich sind die ausgewählten Algorithmen zu implementieren und anzuwenden.

2.6 QUANTIFIZIERUNG VON NUKLIDEN IN SPEKTREN (AP 6)

Entwicklung eines qualitativen Verfahrens zur Detektion von Radionukliden in Spektren von In-situ-Daten und in Spektren spektroskopischer ODL-Sonden, basierend auf LaBr3-Detektoren, zur routinemäßigen Anwendung bei der Analyse von Spektren.

Als Input-Parameter stehen 10-min-Spektren von ca. 10 ODL-Messstellen für die Dauer von mehr als 2 Jahren und die Messergebnisse von In-Situ-Messungen des BfS, der Länder und des DWD¹⁾ aus den letzten 10 Jahren zur Verfügung. Zusätzlich sind die Analyseergebnisse der operationellen Auswertumgebung von Spektren in der Datenbank enthalten. Darüber hinaus sind die Ergebnisse der Methoden der Kompensation der Drift der Energiekalibrierung anzuwenden. Zusätzlich sind simulierte Spektren zu erzeugen und in die Analyse mit aufzunehmen. Es sind grundsätzlich alle Radionuklide der Nuklid-Bibliothek als Einzelnuclide bzw. Nuklidgruppen (z. B. typisches Tschernobyl-Spektrum) in der Intensität konfigurierbar und selektierbar einzustellen.

Für die Erzeugung von simulierten Spektren ist eine Monte-Carlo-Anwendung unter Nutzung von Geant4, aufbauend auf einer bereits vom BfS genutzten Anwendung, zu implementieren. Die simulierten Spektren haben HPGe²⁾-, LaBr3- und CZT-Detektoren mit den entsprechenden Energieauflösungen und der detektorspezifischen Kristallvolumen-abhängigen Effizienz zu berücksichtigen.

Es sind Methoden auszuwählen und zu beschreiben, mit deren Hilfe Nuklide in den Spektren quantifiziert werden können. Ferner ist ein Vorschlag zu erarbeiten, welche Methoden verwendet werden sollen, um einen entsprechenden Algorithmus softwaretechnisch abzubilden. Und schließlich sind die ausgewählten Algorithmen zu implementieren und anzuwenden.

3. METHODIK

3.1 GENERELLES VORGEHEN

Neben den in den einzelnen AP genannten Methoden finden über den gesamten Projektverlauf hinweg Meetings zwischen Auftraggeber (AG) und -nehmer (AN) statt, um erarbeitetes Wissen zu reflektieren und das weitere Vorgehen zu planen. AP 1 bis AP 3 sind abgeschlossen. AP 4 ist gegenwärtig in Bearbeitung.

¹⁾ Deutscher Wetterdienst

²⁾ Hochreiner Germaniumdetektor

3.2 METHODENAUSWAHL

Die Auswahl der Methoden erfolgt für jedes AP separat. Dabei wird neben der Literaturrecherche (AP 1) insbesondere auf das bereits vorhandene Know-How des Auftragnehmers zurückgegriffen. Eine Kooperation mit der TU München (Lehrstuhl für Nukleartechnik, FRM II) stellt dabei sicher, dass auch neuste Erkenntnisse aus der Wissenschaft einfließen. Bei späteren APs wird jeweils die Erfahrung aus vorangegangenen APs berücksichtigt. Gegebenenfalls werden an früheren APs auch noch kleinere Korrekturen vorgenommen.

Die Auswahl der Methodiken erfolgt nach Vorschlag des AN in Abstimmung mit dem AG. Je nach AP und Verfügbarkeit von zielführenden Ansätzen werden eine oder mehrere Methoden ausgewählt, implementiert und getestet. Ziel ist dabei immer, bestehende Algorithmen zu verwenden oder so anzupassen, dass diese in einem Produktivsystem zur Anwendung kommen können.

3.3 IMPLEMENTIERUNG

Die Algorithmen werden in der für Machine Learning (ML) und künstliche Intelligenz (KI) am besten geeigneten und am weitesten verbreiteten Programmiersprache, Python, implementiert. Sie werden in einer Bibliothek gekapselt. Um die Verwendbarkeit im Produktivsystem sicherzustellen wird die Python-Bibliothek mit einer C-Schnittstelle ausgestattet, mit deren Hilfe die Ein- und Ausgaben zwischen den beiden Sprachen transportiert werden können. Der Rückgriff auf Python stellt sicher, dass auch bei neuen Entwicklungen im Bereich der KI der im Projekt entwickelte Code einfach, schnell und zuverlässig angepasst werden kann.

3.4 TEST

Der Auftragnehmer testet alle Algorithmen mit Hilfe vom Auftraggeber bereitgestellter Daten. Diese Daten werden vom Auftragnehmer, sofern notwendig, um zusätzliche Daten erweitert oder modifiziert. Letzteres umfasst beispielsweise die Simulation kerntechnischer Unfälle, um Anomalie-Erkennungen zu testen. Die Ergebnisse werden dem AG vom AN vorgestellt, sobald diese vorliegen. Daraufhin wird nach entsprechender Abstimmung gegebenenfalls iterativ verbessert.

4. DURCHFÜHRUNG

Der Auftragnehmer organisiert in Abstimmung mit dem Auftraggeber Projektgespräche. Das erste Projektgespräch findet als Kick-off Meeting zu Beginn des Projekts statt. Weitere Arbeitstreffen finden während der Projektlaufzeit nach Abschluss eines Arbeitspakets statt. Im Verlauf der Durchführung einzelner Arbeitspakete verständigen sich Auftraggeber und Auftragnehmer regelmäßig über den Projektfortschritt und stimmen sich über die weitere Vorgehensweise ab. Die Projektgespräche finden in der Regel - sofern die pandemische Lage dies zulässt - am BfS-Standort in Oberschleißheim statt; andernfalls werden Online-Meetings organisiert. Die jeweiligen Software-Module inkl. Dokumentation und die Zwischenberichte sind nach Abschluss der einzelnen Arbeitspakete zu liefern.

5. ERGEBNISSE

Bereits inhaltlich vollständig bearbeitet wurden AP 1, AP 2 und AP 3. AP 4 befindet sich gegenwärtig in Bearbeitung.

5.1 LITERATURRECHERCHE (AP 1)

Für die umfangreiche Literaturrecherche wurden über 300 wissenschaftliche Publikationen, Abschlussarbeiten, Patente, Forschungsberichte u. ä. gesichtet und analysiert. Zusammenfassend kann man sagen, dass bisher vergleichsweise wenig Literatur zu ML/KI mit reinen ODL-Sonden existiert.

In der Gammasspektroskopie hingegen hat sich insbesondere in den letzten 2-3 Jahren ein sich schnell entwickelndes Forschungsfeld aufgetan, das speziell in den USA - mit Fokus auf Homeland Security - vorangetrieben wird. Auch wenn die Methoden zu weiten Teilen noch in den Kinderschuhen stecken,

sind hier in den nächsten Jahren noch bedeutende Fortschritte zu erwarten. Umso wichtiger erscheint vor diesem Hintergrund das vorliegende Projekt, um hier am Ball zu bleiben.

5.2 ANOMALIEERKENNUNG IN GDR ZEITREIHEN (AP 2 UND AP 3)

Das Arbeitspaket wurde gegenüber der ursprünglichen Definition in Abstimmung zwischen AN und AG etwas abgewandelt. Dabei läuft es letztlich darauf hinaus, dass Alarme nicht mehr in Form von fixen Schwellwerten definiert werden, sondern als Abweichung des Messsignals von der Erwartung.

Der Algorithmus arbeitet in drei Stufen:

- Entfernung der durch Niederschlag induzierten ODL-Spitzen
- Vorhersage der Basis-ODL
- Erkennung von Anomalien

Jede Stufe verfügt über ein eingebautes Sicherheitsnetz, damit künstliche ODL-Erhöhungen nicht versehentlich als natürlich gewertet werden können.

Im ersten, regressionsbasierten Schritt werden die ODL-Spitzen nach Regenereignissen zuverlässig vom Signal entfernt. Eine Plausibilitätsprüfung der Fit-Parameter stellt dabei sicher, dass sich nicht Spaltprodukte im Regen verstecken. Diese Prüfung basiert auf automatisch aus historischen Daten gelernten Korrelationen und der Mahalanobis-Distanz.

Für den nächsten Schritt, die Vorhersage der Basislinie ohne Regenspitzen, wurden zwei Algorithmen untersucht, ARIMAX und LSTM. ARIMAX ist der wichtigste Vertreter der statistischen Prognosealgorithmen, LSTM (Long short-term memory) ein auf Zeitreihen optimierter Vertreter neuronaler Netze. Das LSTM zeigt im Ergebnisvergleich deutlich zuverlässigere und bessere Ergebnisse als ARIMAX.

Konservativ lässt man als Eingabedaten an das LSTM nur Wetterdaten zu, und trotzdem bewegt sich der Vorhersagefehler im 3h-Intervall üblicherweise unterhalb von lediglich 10 nSv/h, meist sogar noch tiefer. Will man aggressiver vorgehen, kann man in einer Art autoregressivem Ansatz noch vergangene Messwerte als Eingabedaten hinzufüttern. Die Vorhersage wird dann fast perfekt, die Erkennung von Anomalien allerdings erschwert und unzuverlässiger. Es wurde daher entschieden, den konservativen Ansatz zu wählen und nur Wetterdaten als Eingabegrößen für das LSTM zuzulassen.

Die Anomalieerkennung erfolgt mit zwei separaten Algorithmen, DSPOT und SST. DSPOT ist eine Implementierung der Extremwerttheorie und besonders geeignet zur Erkennung schneller und kurzfristiger Erhöhungen. Die Theorie arbeitet folgerichtig mit Einzelpunkten. SST hingegen arbeitet mit Repräsentationen von Segmenten der Zeitreihen und verwendet eine Form des hierarchischen Clusters, um ungewöhnliche Sequenzen zu erkennen. Der Algorithmus eignet sich damit vor allem zur Erkennung von mittel- und langfristigen Entwicklungen, auch unterhalb der Rauschgrenze von Einzelmessungen.

Verifiziert wurde die Leistungsfähigkeit des Systems mit einer realen Messreihe, die um Daten aus einer JRODOS-Simulation eines KKW-Unfalls angereichert wurde. Es konnte gezeigt werden, dass SST in diesem Fall eine Erhöhung der ODL um 4 nSv/h in einer sechsjährigen Messreihe ohne Fehlalarm identifizieren konnte. Da die Abweichung zwischen Erwartung und Messwert quantitativ greifbar ist, konnte hier sogar mit einiger Sicherheit auf I-131 als für die ODL-Erhöhung maßgebliches Nuklid rückgeschlossen werden.

Die Arbeitspakete 2 und 3 wurden damit erfolgreich abgeschlossen.

5.3 STABILISIERUNG VON LABR3-SPEKTREN (AP 4)

Das Arbeitspaket 4 ist das erste von insgesamt drei Paketen, die sich mit spektroskopischen Messungen befassen.

LaBr3-Szintillatoren zeigen ein temperaturabhängiges Emissionsverhalten, das dazu führt, dass die Peaklage im aufgenommenen Spektrum variiert. Dies kann durch ein aktives Regelungsverhalten kompensiert werden, um die Energiekalibrierung des Spektrometers zu erhalten. Gegenwärtig wird dies über einen zweistufigen Algorithmus erreicht, eine im Vielkanalanalysator (MCA) hinterlegte tabellarische Steuerung der Hochspannung (HV) und einer nachgelagerten Peak-Analyse.

Der im Arbeitspaket gewählte Ansatz orientiert sich an der Prognose der ODL aus dem vorangegangenen AP: Ein LSTM sagt, basierend auf den Parametern Temperatur und Zählrate, die Lage der beiden intrinsischen Peaks des Spektrometers voraus. Dies kann sowohl ohne als auch mit vorgeschalteter Regelung durch den MCA erfolgen. In letztgenanntem Fall wird die HV als zusätzlicher Parameter an das LSTM übergeben. Dieser Fall ist komplexer als die Regelung rein auf Basis von Umgebungsparametern, da das LSTM letztlich lernen muss, die interne Regelung des MCA „rückgängig“ zu machen bzw. deren Fehlverhalten zu kompensieren.

Der Algorithmus ermöglicht sowohl eine Korrektur als auch eine Klassifizierung von Spektren, da er eine zuverlässige Prognose der Kalibrierparameter erstellt. Parameter, die über ein gewisses Maß von der Vorhersage abweichen, zeigen dann eine unzureichende Kalibrierung an.

Es ist geplant, das Arbeitspaket bis Ende Februar 2022 abzuschließen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Direkt nach Abschluss von AP 4 wird mit AP 5 begonnen, der Erkennung von Niederschlägen im Spektrum. Die Fragestellung hier ist den vorangegangenen ähnlich und sollte sich mit einer vergleichbaren Konstellation von Algorithmen lösen lassen. Das AP 6, die Nuklididentifizierung, erfordert hingegen vollkommen neue Ansätze.

Die Abwicklung des Projekts ist derzeit aufgrund der Umstellung und Ausweitung der AP 2 und 3 leicht verzögert. Es wird daher versucht, den Zeitverlust durch eine beschleunigte Bearbeitung von AP 4 und AP 5 wieder aufzuholen.

Thema			
Interdisziplinäre Lageinformationen zur Optimierung des radiologischen Lagebildes (ILaS RLB)			
Subject			
<i>Optimizing the radiological situation picture by interdisciplinary situation information</i>			
Kennzeichen 3620S62599	Beginn 01.06.2021	Ende 28.02.2022	Fördermittel EUR 248.016,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Team HF - Human Factors Forschung Beratung Training Hofinger, Künzer & Mähler PartG Ludwigsburg			
Projektleitung Dr. G. Hofinger	Fachbetreuung BfS B. Denstorf / RN 3	verantwortlich für den Text Dr. C. Becker	

1. ZIELSETZUNG

Das radiologische Lagebild (RLB) im Radiologischen Lagezentrum des Bundes dient als Grundlage für Entscheidungen über gegebenenfalls notwendige Schutzmaßnahmen. Bei der Erstellung des RLB sollen in Zukunft stärker als bisher Ansätze unterschiedlicher fachlicher Disziplinen und politischer Ebenen berücksichtigt werden. Ziel ist es, das Lageverständnis durch den interdisziplinären Austausch aller involvierten staatlichen und ggf. nichtstaatlichen Akteure zu fördern. Dieses gemeinsame Lageverständnis soll die Grundlage für ein konsistentes staatliches Handeln im radiologischen Notfallschutz bilden. Mit diesem Ziel wird in ILaS RLB untersucht, ob und wie Methoden und Formen der Lagebilderstellung anderer Akteure des Krisenmanagements in das RLB integriert werden können. Dabei soll auch die psychologische Human Factors-Perspektive einfließen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Bearbeitung der Fragestellung erfolgte im Jahr 2021 in zwei miteinander verzahnten Arbeitspaketen, von denen das erste im Jahr 2021 durch Abgabe eines Berichts fertiggestellt und das zweite begonnen wurde. Ein Workshop, bei dem die Ergebnisse des ersten Arbeitspaketes hätten dargestellt werden können, wurde auf Grund der Corona-Beschränkungen in das Jahr 2022 verschoben.

2.1 SCHUTZSTRATEGIEN UND -ZIELE AUS SOZIALWISSENSCHAFTLICHER SICHT (AP 1)

Im ersten Arbeitspaket wurde untersucht, welche Schutzgüter, Schutzziele und Schutzstrategien im nationalen radiologischen Notfallschutz vorhanden sind und in gesellschaftspolitischen Diskussionen sowie den Sozialwissenschaften aufscheinen. Diese Untersuchung, die nationale sowie internationale Erkenntnisse einbezog, erfolgte aus sozialwissenschaftlicher Perspektive. Schutzgüter, Schutzziele und Schutzstrategien wurden als Ergebnis gesellschaftspolitischer Diskussionen und Werte verstanden. Die Analyse näherte sich dem Thema aus vier Perspektiven an:

- Regulatorische Normen (Gesetze, Verordnungen) und Konventionen auf nationaler und internationaler Ebene
- Konzeptionen, die als Richtlinien für staatliches Handeln formalisiert sind
- Gremien und Verbände der wissenschaftlichen Politikberatung
- Sozialwissenschaftliche Diskurse, insbesondere der Soziologie, Kulturanthropologie und Medienwissenschaften

Der erarbeitete themenbezogene Überblick zu gesellschaftspolitischen Diskussionen sowie Perspektiven und aktuellen Themen der Sozialwissenschaften wurde abschließend diskutiert und dabei auch mit

den schutzzielbezogenen Normen des radiologischen Notfallschutzes bzw. Strahlenschutzes kontrastiert.

2.2 UNTERSUCHUNG DES PHÄNOMENS, FACHSPEZIFISCHES LAGEVERSTÄNDNIS UND FACHSPEZIFISCHE LAGEBILDER (AP 2)

Um Charakteristika organisations- sowie fachspezifischer Lageverständnisse in deutschen Behörden verschiedener Fachressorts sowie in Unternehmen identifizieren zu können, wurden Befragungen in Form von Interviews vorbereitet. Hierzu wurden auf Grundlage des Berichts aus AP 1 sowie im Dialog mit dem begleitenden Fachbereich essenzielle Themen wie Schutzstrategien und -ziele, Informationsdarstellung, Bewertungsmaßstäbe, Aufbereitung von Daten im Lagebild für unterschiedliche Lagen sowie Fragen nach Auswirkungen auf Entscheidungen festgelegt. Eine Liste möglicher Interviewpartner*innen wurde erstellt und eine Strategie entwickelt, wie diese anzusprechen sind.

3. METHODIK

Im Rahmen des AP 1 wurden eine Schlagwortrecherche in diversen Fachdatenbanken, Bibliotheken und Suchmaschinen sowie eine Dokumentenanalyse unter Einbeziehung deutscher und internationaler Literatur durchgeführt. Anhand deduktiver Kategorien wurde analysiert, inwieweit die bearbeiteten Dokumente bzw. Literatur auf Projektthemen eingehen. Einschlägige Publikationen wurden über Stichwortsuchen in wissenschaftlichen Datenbanken und Bibliotheken identifiziert sowie über die Verfolgung fachinterner Diskussionen auf Tagungen ergänzt und erweitert. Hierbei wurden die Themen diskursanalytisch auf die bereits in der anwendungsbezogenen Fachliteratur vielfach bemerkte Vielschichtigkeit hin geprüft und verschiedene Strata der Pragmatik der untersuchungsleitenden Kategorien identifiziert und in Beziehung zueinander gesetzt. Operativ orientierte Literatur wurde mit Befunden sozial-, kultur- und medientheoretischer Forschung verknüpft, wobei Interaktionszusammenhänge sozialen und politischen Wandels in die Analyse einbezogen wurden. Die Ergebnisse zu den Recherchen der Auswertungskategorien wurden jeweils zusammengefasst im Bericht zum AP dargestellt.

4. DURCHFÜHRUNG

Für die Analyse maßgeblicher Dokumente wurden zunächst die zu untersuchenden Perspektiven identifiziert. Dann wurden im Rahmen der regulatorischen Perspektive teils vorab benannte Dokumente wie z. B. Strahlenschutzgesetz und -verordnung, Basic Safety Standards der Europäischen Union und der International Atomic Energy Agency, aber auch nationale Konventionen, wie die Konzeption Zivile Verteidigung (KZV), verarbeitet. Um die gesellschaftliche Perspektive einzubeziehen, wurden Veröffentlichungen exemplarischer Gremien und Verbände der wissenschaftlichen oder wissenschaftsnahen Politikberatung im Bereich Bevölkerungsschutz und Öffentliche Sicherheit ausgewählt. Zudem wurden die Ergebnisse eines aktuellen themenbezogenen Forschungsprojekts (DESKRIS) mit einbezogen.

Schließlich wurden aktuelle sozialwissenschaftliche Diskurse analysiert, insbesondere der Soziologie, Kulturanthropologie und Medienwissenschaften. Der erarbeitete themenbezogene Überblick zu gesellschaftspolitischen Diskussionen sowie Perspektiven und aktuellen Themen der Sozialwissenschaften wurden abschließend diskutiert, dabei auch mit den schutzzielbezogenen Normen des radiologischen Notfallschutzes bzw. Strahlenschutzes kontrastiert. Im Rahmen der Recherche wurden die Vergangenheit, mindestens seit der Gründung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS), sowie die Gegenwart einbezogen. Wo möglich, wurden auch Aussagen zu Zukunftsprognosen aus der Literatur erfasst.

Zur Unterstützung der Analyse wurde zusätzlich eine Literaturdatenbank erstellt: Sämtliche gefundene Dokumente und Literaturstellen wurden in eine Citavi-Datenbank eingepflegt. Diese enthält 263 spezifische Einträge sowie weitere sozialwissenschaftliche Werke. Alle Einträge wurden verschlagwortet und projektbezogenen Kategorien zugeordnet. Für die näher betrachteten Dokumente wurden Exzerpte sowie Querverweise zu anderen Dokumenten und Akteuren erstellt.

5. ERGEBNISSE

Die Untersuchung von Literatur und Dokumenten hinsichtlich der Begriffe Schutzgut, Schutzziele und Schutzstrategie hat insgesamt ergeben, dass diese Begriffe selbst weder hinreichend definiert sind noch einheitlich verwendet werden. Direkt oder indirekt lassen sich meist dennoch Schutzgüter wie „Mensch“ oder „Umwelt“ mit ihren Teilbereichen wie beispielsweise „Gesundheit des Menschen“ in den Texten identifizieren oder aus ähnlich verwendeten Konstrukten wie „staatliche Schutzaufgaben“ herleiten.

In Bezug auf Schutzziele ist festzustellen, dass in den Dokumenten häufig übergeordnete, allgemeine Schutzziele zu finden sind, die sich jedoch meist nicht konkret auf den angestrebten Zustand bzw. die Beschaffenheit des Schutzguts beziehen, somit nicht quantifizierbar und demnach auch nicht dazu geeignet sind, konkrete Maßnahmen abzuleiten. Sie müssen in kleinteiligere, konkretere Ziele heruntergebrochen werden, die anschließend ggf. mit messbaren Schwellenwerten versehen werden können. Dergestalt operationalisierte Schutzziele sind dann handlungsleitend, weil sie zur Abwägung von Restrisiken und zur Festlegung von Maßnahmen herangezogen werden können. Grundsätzlich gibt es verschiedene Möglichkeiten, zu solchen Zielfestlegungen zu kommen. Möglicherweise brauchen solche Entscheidungsprozesse aufgrund der Vielfalt und Komplexität verschiedener Szenarien und diversen möglichen Eintrittswahrscheinlichkeiten auch diverse Herangehensweisen. Eine Reflexion hinsichtlich dessen, wie Wissen und Ziele zustande gekommen sind und dass dabei immer auch Perspektiven und Informationen verloren gegangen sind, kann dabei helfen, scheinbar sichere Konstellationen zu relativieren, neue Perspektiven einzunehmen und dadurch letztendlich zu besseren Entscheidungen zu gelangen.

Unter dem Begriff Schutzstrategie werden in den verschiedenen untersuchten Dokumenten teils relativ abstrakte Maßnahmenpakete verfolgt, die zuerst weiter differenziert werden müssen, sollen sie als Entscheidungsgrundlage für Handlungen z. B. in Form von konkreten Schutzmaßnahmen dienen, die letztlich dazu führen, den angestrebten Zustand eines Schutzguts im Not- oder Katastrophenfall zu erreichen. Punktuell wird in Texten darauf hingewiesen, dass solche Maßnahmen regelmäßig auf ihre Auswirkungen überprüft und ggf. angepasst werden müssen. Ähnlich wie bei den Begriffen Schutzgut und Schutzziele ist nicht klar, welche Ebenen bzw. welche Beteiligten solche Strategien und Maßnahmen jeweils festlegen können und wie genau sie zu diesen Entscheidungen kommen.

Ähnliches gilt in Bezug auf die Akteure, die Schutzgut, Schutzziele und Schutzstrategie jeweils festlegen. Es besteht insgesamt in der durchgesehenen Literatur eine große Unsicherheit: einerseits wird auf die politisch-administrative Ebene als Entscheidungsträger verwiesen, andererseits auf eine gesamtgesellschaftliche Diskussion, die unter Beteiligung der Bevölkerung stattfinden muss, da letztere diejenigen sind, die die Folgen möglicherweise eintretender Risiken tragen müssen. Der kurze Ausblick in die verschiedenen Zukünfte von möglicherweise vorherrschenden Wertvorstellungen in Deutschland macht greifbar, dass es in einer werteppluralen Gesellschaft wie der Deutschlands zunehmend schwieriger wird, wertegeleitete Entscheidungen zu treffen. Dabei ist weder geklärt, auf welcher Ebene derlei Diskurse geführt werden könnten oder sollten, noch, wer beteiligte Akteure sein könnten. Von Bürgerräten über Runde Tische mit Beteiligung aus Wirtschaft, Wissenschaft und NGO-Organisationen bis zur Behandlung in parlamentarischen oder kommunalen Ausschüssen wären viele Möglichkeiten denkbar, wobei derzeit auch aus Sicht soziologisch-kulturanthropologischer Perspektive völlig ungeklärt ist, wie mit diesen unterschiedlichen Beteiligungen und auch mit u. U. konfligierenden Zielen, Sicherheitsanforderungen und Wertevorstellungen umzugehen ist.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Nach Festlegen der Befragungs- und Auswertestrategie werden leitfadenorientierte Interviews vorwiegend mit Lagebilderstellenden und Entscheidenden geführt. Konkret beziehen sich die Fragen auf die jeweilige Organisation, auf Lageinformationen und Gremien im Krisenmanagement sowie auf Lagebild und Lagebericht und darauf, inwieweit kurz-, mittel- und ggf. langfristigen Konsequenzen von Entscheidungen, die auf Grundlage Ihres Lagebildes getroffen wurden, im Lagebild Berücksichtigung finden. Für die Befragung werden bewusst verschiedene Behörden, Ämter, Wirtschaftsunternehmen und Organisationen ausgewählt, die Lagebilder für Krisensituationen erstellen und die keinen Bezug zum radiolo-

gischen Notfallschutz haben. Nach der Auswertung der Interviews werden in AP 3 die gewonnenen Erkenntnisse auf einen Mehrwert für das RLB durch Kombination interdisziplinärer Methoden und Lageinformationen untersucht und Vorschläge zur Optimierung des RLB sowie zur Erweiterung des Lageverständnisses erarbeitet.

Thema			
Überarbeitung des Maßnahmenkatalogs, Integration, Aktualisierung bisher unberücksichtigter Maßnahmen auf Basis der Erstellung §§ 98, 99 StrlSchG Allgemeiner Notfallplan, Besondere Notfallpläne des Bundes			
Subject			
<i>Revision of the compendium of measures, integration, updating of previously unconsidered measures based on the preparation of §§ 98, 99 StrlSchG General Emergency Plan, Special Emergency Plans of the Federation</i>			
Kennzeichen 3621S62520	Beginn 05.07.2021	Ende 30.11.2023	Fördermittel EUR 235.155,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung Dr. F. Drever	Fachbetreuung BfS M. Werner / RN 2	verantwortlich für den Text Dr. F. Drever, M. Werner	

1. ZIELSETZUNG

Der Maßnahmenkatalog enthält eine Reihe von Angaben zu Maßnahmen, die zur Verminderung oder Beseitigung der bei einem Notfall möglichen radiologischen Auswirkungen zur Anwendung kommen. Die Maßnahmen werden von den jeweils zuständigen Behörden bewertet, empfohlen oder vollzogen. Für sie dient der Maßnahmenkatalog als Nachschlagewerk, um Hintergrundinformationen und Hilfestellungen zu erhalten. Im Vorgängervorhaben 3618S62571 wurden etwa 250 Maßnahmen ermittelt. Davon wurden bisher 100 Maßnahmen detailliert beschrieben. In diesem Vorhaben sind noch 150 Maßnahmen zu erarbeiten und die bisherigen Maßnahmen zum Teil inhaltlich zu ergänzen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AKTUALISIERUNG UND VERVOLLSTÄNDIGUNG DER MAßNAHMENBLÄTTER

Die im Vorläufervorhaben skizzierten Maßnahmenblätter sollen auf Basis der Entwicklungen zu den besonderen Notfallplänen aktualisiert und vervollständigt werden. Dabei sollen fachlich-radiologische Vorgaben des BfS und der SSK sowie der aktuelle Stand von Wissenschaft und Forschung berücksichtigt werden, wobei insbesondere Erkenntnisse der Nachunfallphase z. B. aus Belarus, Ukraine, Russland und Japan zu berücksichtigen sind. Die verschiedenen Notfallphasen des allgemeinen Notfallplans des Bundes sollen abgedeckt werden. Die Aktualisierung und Vervollständigung sollen in Zusammenarbeit mit Gremien erfolgen, die für die Erstellung der besonderen Notfallpläne zuständig sind. Die Ergebnisse sollen mit BMUV, BfS sowie den betroffenen Ressorts abgestimmt werden.

2.2 KOORDINIERUNG UND ABSTIMMUNG

Alle Arbeitsergebnisse sollen mit dem Auftraggeber, dem BMUV, der SSK und ggf. weiteren Gremien abgestimmt werden. Hierfür sollen Termine für eine bestmögliche Zuarbeit zu der parallelen Erstellung der besonderen Notfallpläne des Bundes mit den Akteuren gewählt werden.

2.3 STRUKTURIERUNG DES MAßNAHMENKATALOGS

Für die Anwendungsbereiche der besonderen Notfallpläne des Bundes soll der im Vorläufervorhaben als Einzeldokument angelegte Maßnahmenkatalog in Unterdokumente aufteilt werden. Dabei sollen sich der Zuschnitt dieser Unterdokumente an der Aufteilung nach dem § 99 StrlSchG orientieren. Die Zuordnung der Maßnahmenblätter zu den Referenzszenarien nach dem allgemeinen Notfallplan soll erkennbar sein. Eine Zusammenfassung der Maßnahmen ist den Kapiteln für die einzelnen Anwendungsbereiche der besonderen Notfallpläne des Bundes voranzustellen.

2.4 MODELLE

Für den Maßnahmenkatalog sollen Daten aus Resuspensionsprozessen für potenzielle Expositionen der Bevölkerung und von Einsatzpersonal aufbereitet und in einem internationalen Journal veröffentlicht werden.

3. METHODIK

Auf den Ergebnissen des Vorgängervorhabens aufbauend werden Literaturrecherchen zu Maßnahmen durchgeführt, um die Platzhalter auf den Maßnahmenblättern mit Inhalten gemäß dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu füllen.

Im wissenschaftlichen Austausch werden die Ergebnisse mit den diversen Akteuren wie BMUV, BfS, SSK und den für die Erstellung der besonderen Notfallpläne zuständigen Stellen oder andere Gremien diskutiert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK - ANPASSUNG UND ERGÄNZUNG DER MAßNAHMENBLÄTTER

Der Auftragnehmer hat die Maßnahmenblätter auf verschiedene Mitarbeitende aufgeteilt und sich dabei an der Aufteilung des § 99 Absatz 2 StrlSchG orientiert. Die Mitarbeitenden führen in ihren jeweiligen Sachbereichen Recherchen durch und füllen in einem ersten Schritt die Maßnahmenblätter aus. Diese werden entsprechend der thematischen Gliederung an Mitarbeitende im BfS übermittelt, die ihrerseits die fachlichen Arbeiten des Auftragnehmers prüfen und bei Bedarf Nacharbeiten fordern können. Nach dieser Qualitätssicherung gehen die ausgefüllten und geprüften Maßnahmenblätter an eine Unterarbeitsgruppe der SSK, die ihrerseits Anregungen und Bewertungen vornimmt. Nach diesem Prüfzyklus werden die Maßnahmenblätter den zuständigen Fachressorts für die Erstellung der besonderen Notfallpläne zu Verfügung gestellt, die ihrerseits ihre fachlichen Anregungen und Beiträge zu den Maßnahmenblättern liefern können. Diese sollen letztlich finalisiert werden und einer abschließenden Qualitätssicherung durch die Fachbetreuung zugeführt werden.

4.2 MAßNAHMENKATALOG INHALT UND STRUKTUR FERTIGSTELLEN

Die Struktur der einzelnen Maßnahmenblätter war im Vorläufervorhaben bereits entwickelt worden. Im Zuge der Zusammenarbeit werden einzelne Anpassungen an dieser Struktur vorgenommen, um Inhalte besser darzustellen. Aus dem bisher als ein Einzeldokument vorliegenden Maßnahmenkatalog werden thematisch gegliederte Bände, die sich am Zuschnitt der besonderen Notfallpläne des Bundes orientieren.

4.3 MODELLE

Daten und Erkenntnisse zu Resuspensionsprozessen werden in einem Artikel für ein internationales von Experten begutachtetes Journal dargestellt und publiziert. Diese Arbeiten werden im Rahmen eines Unterauftrags durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK - ANPASSUNG UND ERGÄNZUNG DER MAßNAHMENBLÄTTER

Während des Berichtszeitraums wurden Maßnahmenblätter in den Bereichen Katastrophenschutz, Schutz der Einsatzkräfte, medizinisches Management, Verhaltensempfehlungen für die Bevölkerung, Trinkwasser sowie Lebens- und Futtermittel ausgefüllt und dem Abstimmungsprozess mit dem BfS

übergeben. Einzelne Maßnahmenblätter konnten der SSK übermittelt werden. Im Bereich Trinkwasser wurde der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) beteiligt.

5.2 MAßNAHMENKATALOG INHALT UND STRUKTUR FERTIGSTELLEN

Zwischen Fachbetreuung und Auftragnehmer wurden Anpassungen an der grundsätzlichen Struktur der Maßnahmenblätter abgesprochen. Der Umsetzungsprozess dieser Anpassung ist noch nicht abgeschlossen.

5.3 MODELLE

Die Texte und Grafiken zu den wesentlichen experimentellen Ergebnissen zur Resuspension lungengängiger Partikel durch Luftströmungen (Wind) nach Deposition auf Oberflächen sind entwickelt worden. Die Analyse von Anwendungsmöglichkeiten der Erkenntnisse und Daten zur Resuspension mit Bezug zu Schutzmaßnahmen wurden begonnen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

6.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK - ANPASSUNG UND ERGÄNZUNG DER MAßNAHMENBLÄTTER

Die Arbeiten sollen an Maßnahmenblättern weiterer Themengebiete (Dekontamination, Entsorgung, Arzneimittel, Verkehr etc.) fortgesetzt werden. Alle Maßnahmenblätter sollen den jeweiligen Ressorts übermittelt werden. Geplant ist diese Übergabe noch im Frühjahr 2022.

6.2 MAßNAHMENKATALOG INHALT UND STRUKTUR FERTIGSTELLEN

Die Arbeiten zur Fertigstellung von Dokumenten sind erst nach Fertigstellung der inhaltlichen Arbeiten vorgesehen.

6.3 MODELLE

Im Jahr 2022 sollen die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes in einem entsprechenden Journal veröffentlicht werden.

3.7 Themenbereich 07

Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

3.7 *Subject area 07*

Projects of general importance to radiation protection

Thema			
Eine vergleichende Evaluation der Online-Krisenkommunikation von Behörden und unabhängigen Expert*innen im Zuge der Covid-19-Pandemie als Grundlage für die Verbesserung der BfS-Krisenkommunikation - Los 1			
Subject			
<i>A comparative evaluation of the online crisis communication of authorities and independent experts in the course of the Covid 19 pandemic as a basis for improving BfS crisis communication - Lot 1</i>			
Kennzeichen 3620S72215	Beginn 01.12.2020	Ende 31.03.2022	Fördermittel EUR 98.150,-
Forschungs- / Auftragnehmer Stiftung Risiko-Dialog, Zürich			
Projektleitung M. Holenstein	Fachbetreuung BfS M. Gruß / St-RK	verantwortlicher für den Text Dr. R. Högg	

1. ZIELSETZUNG

Das vorliegende Forschungsprojekt ist Los 1 eines Forschungsprojektes, welches zwei Lose umfasst. Es analysiert die Online-Krisenkommunikation zur Covid-19-Pandemie als Gesundheitskrise. Es hat zum Ziel, Online-Krisenkommunikation verschiedener Behörden und Organisationen sowie unabhängiger Expert*innen, als auch deren Rezeption durch Bürger*innen zu untersuchen. Es werden folgende Fragen beantwortet:

- Welche Merkmale, Unterschiede und Gemeinsamkeiten weist die Online-Krisenkommunikation verschiedener Behörden und Organisationen sowie unabhängiger Expert*innen auf?
- Wie wird ihre Kommunikation auf Seiten der Rezipient*innen wahrgenommen und interpretiert?
- Was können Behörden und Organisationen von der Online-Krisenkommunikation unabhängiger Expert*innen lernen?

Das Forschungsprojekt ist unterteilt in 4 Arbeitspakete (AP). In AP 1 wurden der aktuelle Wissensstand zur Online-Krisenkommunikation sowie spezifische Erkenntnisse aus der pandemischen Lage 2020 (Situation Covid-19) aufgearbeitet. In AP 2 wurden die subjektiven Wahrnehmungen der Nutzer*innen und Kommunikator*innen der Krisenkommunikation untersucht. In AP 3 schließlich wurde eine vertiefte Analyse einzelner Fallbeispiele der Online-Krisenkommunikation auf Twitter und weiteren Online-Kanälen durchgeführt. AP 4 umfasst die Erstellung des Schlussberichts.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ARBEITSPAKET 1

Im ersten AP wurden der aktuelle Stand des Wissens zur Online-Krisenkommunikation sowie spezifische Erkenntnisse aus den Ereignissen im Jahr 2020 (Situation Covid-19) dargestellt. Der Fokus lag auf Themen wie Risikowahrnehmung, Mediennutzungsverhalten, Medienrezeption und Social Media.

2.2 ARBEITSPAKET 2

AP 2 untersuchte

- die subjektive Wahrnehmung und Interpretation der Online-Krisenkommunikation im Laufe der Covid-19-Krise aus der Perspektive von Behörden und Organisationen sowie unabhängigen Expert*innen, die im Rahmen der Covid-19-Krise gesundheitsbezogene Krisenkommunikation betreiben,

- die subjektive Wahrnehmung der Online-Krisenkommunikation von Behörden und Organisationen im Vergleich zur Online-Krisenkommunikation unabhängiger Expert*innen im Laufe der Covid-19-Krise aus der Perspektive deutscher Internetnutzer*innen,
- den Abgleich zwischen den Kommunikationsstrategien von Behörden und Organisationen bzw. von unabhängigen Expert*innen und der Interpretation der Rezipient*innen dieser Krisenkommunikation.

2.3 ARBEITSPAKET 3

Ziel von AP 3 war die Herausarbeitung der Merkmale von ausgewählten Social-Media-Profilen und der Online-Krisenkommunikation von Behörden/Organisationen und von unabhängigen Expert*innen und der Vergleich beider Akteursgruppen. Es stellt somit einen notwendigen Schritt dar, um die in AP 2 gewonnenen Befunde zu den subjektiven Sichtweisen der Kommunikator*innen und Nutzer*innen zu komplementieren. Nachdem sich AP 2 auf die subjektiven Wahrnehmungen der Nutzer*innen und Kommunikator*innen auf die Krisenkommunikation während der Pandemie konzentriert hatte, standen im AP 3 der Kommunikationsinhalt und dessen Aufbereitung im Vordergrund.

2.4 ARBEITSPAKET 4

Neben der Integration der Resultate der vorangehenden AP und den Resultaten aus Los 2 ist es zudem das Ziel von AP 4, dem BfS - basierend auf den Forschungsergebnissen - konkrete Handlungsempfehlungen zur Verfügung zu stellen.

3. METHODIK

3.1 ARBEITSPAKET 1

In der Literaturrecherche wurden verschiedene Quellen der wissenschaftlichen und grauen Literatur berücksichtigt. Eine Vielzahl von Forscher*innen nutzen die Covid-19-Pandemie, um die Online-Krisenkommunikation verschiedener Behörden und unabhängiger Expert*innen zu evaluieren - national wie international. In Bezug auf die Rezipient*innenseite wurde auf Risikowahrnehmung und Verhalten, Mediennutzungsverhalten, Fehl- und Desinformation sowie Rezeptions- und Wirkungsforschung eingegangen. Hinsichtlich der Kommunikator*innenseite wurden neue Möglichkeiten durch Social Media, Form, Ziele und Motive der Online-Krisenkommunikation, der Umgang mit Falschinformation sowie inhaltsanalytische Studien zur Kommunikation während der Covid-19-Pandemie beleuchtet.

3.2 ARBEITSPAKET 2

Die Untersuchungen in AP 2 wurden durchgeführt als leitfadenbasierte, problemzentrierte Einzelinterviews mit

- Kommunikationsverantwortlichen von Behörden und Organisationen in Deutschland bzw. unabhängigen Expert*innen, die im Rahmen der Covid-19-Krise gesundheitsbezogene Krisenkommunikation betreiben (im Folgenden als Kommunikator*innen bezeichnet), und mit
- deutschen Internetnutzer*innen (im Folgenden als Nutzer*innen bezeichnet), die sich zu einem großen Teil über Social-Media-Kanäle über die Covid-19-Krise informieren.

3.3 ARBEITSPAKET 3

Im AP 3 wurde eine vertiefte Analyse einzelner Fallbeispiele der Online-Krisenkommunikation auf Twitter und weiteren Online-Kanälen durchgeführt. Hierbei wurden mit Hilfe der qualitativ-inhaltsanalytischen Methode Social-Media-Profilen und einzelne Social-Media-Beiträge im Detail analysiert.

Die Auswahl der Kommunikator*innen und deren Social-Media-Profilen erfolgte in Abstimmung mit dem BfS. Das BfS führte eine Priorisierung der Kommunikator*innen und einzelner Social-Media-Profilen in der Sampling-Liste durch. Letztlich wurden Profile der Plattformen Twitter (n = 10) und Instagram (n = 5) selektiert, wobei Twitter-Profilen die Mehrheit bildeten. Tabelle 1 führt die ausgewählten zehn Kommunikator*innen und die ausgewählten 15 Social-Media-Profilen auf.

Tabelle 1: Auswahl der Kommunikator*innen und Social-Media-Profile

Kommunikator*innen	Social Media (Profil)
Behörden:	
Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA)	Twitter (@bzga_de)
Bundesministerium für Gesundheit (BMG)	Twitter (@BMG_Bund) Instagram (bundesgesundheitsministerium)
Robert Koch-Institut (RKI)	Twitter (@rki_de) Instagram (rki_fuer_euch)
Paul-Ehrlich-Institut (PEI)	Twitter (@PEI_Germany)
Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung	Twitter (@Helmholtz_HZI) Instagram (helmholtz_hzi)
Unabhängige Expert*innen:	
Christian Drost	Twitter (@c_drosten)
Hendrik Streeck	Twitter (@hendrikstreeck) Instagram (hendrikstreeck)
Sandra Ciesek	Twitter (@CiesekSandra)
Karl Lauterbach	Twitter (@Karl_Lauterbach) Instagram (karl_lauterbach_mdb)
Malte Kreutzfeldt	Twitter (@MKreutzfeldt)

Im nächsten Schritt waren von den zuvor ausgewählten Social-Media-Profilen der Kommunikator*innen **insgesamt 30 Beiträge** für die detaillierte Fallanalyse auszuwählen. **Pro Social-Media-Profil** wurden **zwei Beiträge** detailliert untersucht, um somit ein möglichst breites Spektrum an Profilen zu begutachten und zugleich verschiedene Inhalte pro Profil berücksichtigen zu können. Für die Fallanalyse wurden schließlich die Beiträge eines Profils mit dem höchsten und dem zweithöchsten Engagement selektiert. In Fällen, in denen die Top-2-Beiträge zu demselben Thread gehörten oder in denen die Inhalte auf den verschiedenen Profilen einer/s einzelnen Kommunikator/in (d. h. gleicher Beitrag auf Twitter und Instagram) dieselben waren, wurde stattdessen auf den Beitrag mit dem dritthöchsten Engagement-Index-Wert zurückgegriffen. Die Auswahl der Beiträge wurde in Abstimmung mit dem BfS getroffen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ARBEITSPAKET 1

Die Literaturrecherche wurde als Desk-Research durchgeführt.

4.2 ARBEITSPAKET 2

Die Erhebung im AP 2 setzte sich zusammen aus zwei Teilerhebungen: Die erste Teilerhebung untersuchte die Gruppe der Kommunikator*innen (9 Interviews), die zweite Teilerhebung die Gruppe der Nutzer*innen (30 Interviews). Der Gesprächsleitfaden für die Kommunikator*innen-Interviews bestand aus acht Themenblöcken mit insgesamt 22 Hauptfragen, der Leitfaden für die Nutzer*innen-Interviews umfasste ebenfalls acht Themenblöcke mit insgesamt 25 Hauptfragen (siehe Tabellen 2 und 3).

Tabelle 2: Themenblöcke im Gesprächsleitfaden für die Kommunikator*innen

Blöcke	Inhalte
Themenblock 1	Vorabinformation
Themenblock 2	Krisenkommunikationspraxis
Themenblock 3	Krisenkommunikationsintention
Themenblock 4	Kanalnutzung und Rückmeldungen der Zielgruppen zur Krisenkommunikation
Themenblock 5	Kommunikationserfolg
Themenblock 6	Vertrauen und Glaubwürdigkeit
Themenblock 7	Vergleich der Kommunikation durch Kommunikationsverantwortliche und unabhängige Expert*innen
Themenblock 8	Verabschiedung

Tabelle 3: Themenblöcke im Gesprächsleitfaden für die Nutzer*innen

Blöcke	Inhalte
Themenblock 1	Vorabinformation
Themenblock 2	Wahrnehmung von Covid-19 im Allgemeinen
Themenblock 3	Maßnahmen zur Gesundheitsvorsorge gegen Covid-19
Themenblock 4	Mediennutzungsverhalten
Themenblock 5	Wahrnehmung der Krisenkommunikation zu Covid-19
Themenblock 6	Wahrnehmung von Unsicherheiten
Themenblock 7	Vertrauen und Glaubwürdigkeit
Themenblock 8	Verabschiedung

4.3 ARBEITSPAKET 3

Nachdem die Profile und jeweils zwei Beiträge ausgewählt worden waren, wurden von den einzelnen Profilen im Oktober 2021 Screenshots erstellt; von den einzelnen Beiträgen auf Twitter bzw. Instagram wurden im Browser ganzseitige Screenshots erstellt, um auch einen großen Teil der Kommentarspalte für die Codierung zu erfassen.

Bei der Konstruktion des Codebuchs mussten zum einen die Profilebene, zum anderen die Ebene der Beiträge Berücksichtigung finden. Die Kategorien lassen sich in die folgenden sieben Gruppen unterteilen:

- Profilebene
- Inhaltsebene des Beitrags
- Ebene der Semantik und Syntax des Beitrags
- Stilebene des Beitrags
- Pragmatische Ebene des Beitrags
- Formale Ebene des Beitrags
- Kontextebene des Beitrags

Theoriegeleitet-deduktiv und induktiv entwickelte das Projektteam somit ein Codebuch, das das Kategoriensystem mit Haupt- und Unterkategorien umfasste.

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse aus den AP werden im Schlussbericht zusammengefasst, der Anfang 2022 an das BfS übergeben wird. Er umfasst sowohl die Ergebnisse aus den einzelnen AP, die Erkenntnisse aus dem For-

schungsprojekt 3620S72215 Los 2, Anmerkungen zu den Widersprüchen der Erkenntnisse aus den beiden Losen sowie konkrete Empfehlungen an das BfS.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Neben den Resultaten aus den AP werden im Schlussbericht auch Erkenntnisse zu Erfolgsfaktoren der Online-Krisenkommunikation abgeleitet, welche wiederum Rückschlüsse und Implikationen für die Online-Krisenkommunikation des BfS erlauben. Diese werden dem BfS in Form von praxisrelevanten Empfehlungen verfügbar gemacht.

Thema

Erfassung der Schallfelder von frei am Markt erhältlichen Ultraschallquellen: Abschätzung des Schädigungspotentials

Subject

Survey of sound fields of publicly available ultrasound sources: Evaluation of the potential hazards

Kennzeichen

3620S72412

Beginn

01.09.2020

Ende

31.08.2021

Fördermittel

EUR 164.140,-

Forschungs- / Auftragnehmer

GAMPT mbH, Merseburg

Projektleitung

Dr. M. Schultz

Fachbetreuung BfS

Dr. J. Kuhne / WR 5

verantwortlich für den Text

Dr. A. Schlesinger

1. ZIELSETZUNG

Im Projekt sollen frei erhältliche Ultraschallquellen, die von ungeschulten Anwendern im häuslichen Umfeld am Menschen angewendet werden können (Eigenbehandlung), untersucht und vermessen werden. Hierunter fallen Geräte, die für medizinische Anwendungen vorgesehen sind, wie Fetaldopppler zur vorgeburtlichen Überwachung und Bildgebungsgeräte sowie Geräte für die Therapie bei Schmerzen. Neben den medizinischen Produkten existiert eine Reihe von Ultraschallquellen mit nicht-medizinischer Zweckbestimmung, die den steigenden Bedarf nach kosmetischen Behandlungen z. T. zu sehr geringen Preisen bedienen sollen. Hierzu gehören Geräte mit vermutetem geringen Leistungspotential für z. B. das Einmassieren von Kosmetika in die Haut, aber auch Produkte mit vermutetem hohem Leistungspotential für die Zerstörung von Fettgewebe durch mechanische und thermische Wirkprinzipien. Obwohl der Gesetzgeber regulatorische Anforderungen für den Markteintritt in Deutschland bzw. der Europäischen Union in Form des Produktsicherheitsgesetzes und des Medizinproduktegesetzes an derartige Produkte formulierte, wird vermutet, dass viele der Hersteller der genannten Produktgruppen diese Anforderungen nicht erfüllen und ein Risiko für die Allgemeinheit durch die Beschaffenheit der Geräte und unsachgemäße Anwendung besteht. Ziel des Projektes ist es vorrangig, die von den Geräten ausgehende Gefahr für den Menschen abzuschätzen und auf Basis entsprechender Ergebnisse zu prüfen, ob regulatorischer Handlungsbedarf besteht.

2. EINZELZIELSETZUNG

In Übereinstimmung mit der Leistungsbeschreibung wurde das Projekt in drei Projektteile (Arbeitspakete) untergliedert.

2.1 ARBEITSPAKET 1 (AP 1)

AP 1 umfasst die Aufarbeitung des für das Projekt relevanten Standes von Wissenschaft und Technik. Hierfür sollen folgende Themenkomplexe recherchiert werden:

- Marktübersicht über frei verfügbare Ultraschallquellen,
- regulatorische und normative Situation für betreffende Produkte im nationalen und internationalen Vergleich,
- Kennwerte, Exposition und Dosimetrie von Ultraschall.

Auf Basis der Ergebnisse der drei Teilpakete werden 12 Geräte beschafft. Diese sollen repräsentative Vertreter des Marktangebotes sein, deren Gefahrenpotential ohne messtechnische Überprüfung nicht unmittelbar ersichtlich ist.

2.2 ARBEITSPAKET 2 (AP 2)

AP 2 beinhaltet die Vermessung der Ultraschallquellen und Auswertung der Messungen.

2.3 ARBEITSPAKET 3 (AP 3)

AP 3 umfasst die Risikobewertung der Ultraschallquellen und das Erstellen des Abschlussberichts.

3. METHODIK UND

4. DURCHFÜHRUNG

Das Projekt bedient sich im AP 1 (Recherche) wissenschaftlicher Recherchemethoden und vergleichender Analysen der gefundenen Literaturquellen. AP 2 basiert auf den in einschlägigen Normen angegebenen Messvorschriften und, wo entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Forschung notwendig, ggf. Abwandlungen der in den Normen angegebenen Vorgaben. Für die Messung werden kalibrierte Schallfeldscanner eingesetzt, die in der Lage sind, das von den Geräten in Wasser erzeugte Schallfeld ortsaufgelöst zu vermessen.

5. ERGEBNISSE

Das Projekt befindet sich noch vor Abschluss des AP 2. Die Messungen an den LF Geräten, d. h. Geräte mit einer Arbeitsfrequenz unter 500 kHz, wurden im Sommer 2021 durchgeführt und fast vollständig ausgewertet.

Das Vermessen der Geräte mit einer Arbeitsfrequenz oberhalb 500 Hz erweist sich als außerordentlich aufwendig. Herausforderungen bestehen v. a. (1) in Bezug auf die elektromagnetische Störung der elektromagnetisch offenen Polymerfolien-Hydrophone, (2) den Ableitströmen, (3) dem schwierig zu triggernden Sendemuster sowie (4) unsaubere Sendesignale im Bereich des Eigenrauschens der Messtechnik.

Um die Probleme der elektromagnetischen Störung zu vermeiden, wurde ein spezielles gekapseltes Hydrophon entwickelt, welches unempfindlich gegenüber Störungen ist. Zusätzlich wurde ein Messplatz speziell für das Projektvorhaben eingerichtet.

Weitere im Projektverlauf entstandene Herausforderungen:

- Mehrere Geräte regeln bei einem Temperaturanstieg die akustische Leistung herunter. Dies führte zu einer speziellen Musterbildung in der Flächenmessung, die erst nach Tagen der intensiven Fehlersuche gefunden wurde.
- Geräte mit kurzen Sendebursts benötigen spezielle Aktuatoren zum reproduzierbaren Auslösen und Vermessen der handgehaltenen Geräte. Diese individuell durch den Auftragnehmer zu entwickelnden Vorrichtungen sind mechanisch anspruchsvoll.
- Viele Geräte zeigen starke Schwankungen im Zeit- und Amplitudenverhalten, wodurch der Messaufwand stark steigt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Nach o. g. Vorbereitungsmaßnahmen können die Messungen nun durchgeführt und abgeschlossen werden. Von den 16 Geräten wurden aktuell etwa acht Geräte mit z. T. drei Wandlern vermessen. Diese Messungen werden aktuell ausgewertet. Mit der Fertigstellung von AP 2 kann im April 2022 gerechnet werden. Die Fertigstellung von AP 3 wurde für Juni 2022 angekündigt.

Thema

Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG und standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle sowie sonstigen Einrichtungen nach StrlSchG

Subject

Update of the investigation and evaluation of task-related radiation exposure in nuclear facilities and on-site interim storage facilities for radioactive waste as well as other radiation relevant installations

Kennzeichen
3621S72350

Beginn
03.12.2021

Ende
30.09.2024

Fördermittel
EUR 308.995,-

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 Strahlenexposition 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, sechs weiteren bis Ende des Jahres 2021 sowie der Abschaltung aller Leistungsreaktoren bis Ende des Jahres 2022 erhält insbesondere die mit den Stilllegungstätigkeiten einhergehende Strahlenexposition 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 sowie die systematische Auswertung gemachter Erfahrungen können zu beträchtlichen Dosisersparungen 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 erarbeitet. Dabei wird ein Schwerpunkt auf die Identifizierung von radiologisch relevanten Stilllegungstätigkeiten oder Szenarien bei typischen Stilllegungstätigkeiten gelegt. Bei der Erarbeitung der Optimierungsempfehlungen werden nationale und internationale Entwicklungen und Erfahrungen berücksichtigt. Eine regelmäßige Teilnahme an nationalen und internationalen Erfahrungsaustauschen wie beispielsweise der Working Group on Radiological Protection Aspects of Decommissioning Activities at Nuclear Power Plants (WGDECOM) vom Information System on Occupational Exposure (ISOE) sowie diesbezügliche Aktivitäten der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) sind daher vorgesehen. Des Weiteren werden relevante Vorhabenergebnisse in den nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch, insbesondere im Rahmen der Mitarbeit im ISOE der OECD Nuclear Energy Agency (NEA), eingebracht.

TB07

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 2020 bis 2022 erhoben, aufbereitet und in jährlichen Berichten dokumentiert. Die zu erhebenden Daten stammen aus der betrieblichen Dosimetrie der Anlagen und weisen einen Detaillierungsgrad auf, der höher ist als derjenige der Daten der amtlichen Strahlenschutzüberwachung.

2.2 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, werden hierbei Teilaspekte von durchgeführten Tätigkeiten in die Analyse einbezogen.

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 – soweit möglich – 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 erarbeitet. Der Schwerpunkt der Vorschläge liegt hierbei auf der Identifizierung von "good practices" bei den typischen dosisintensiven Arbeitsvorgängen bei der Stilllegung von Anlagen. Die Szenarien oder Tätigkeitsabfolgen der Stilllegung unterscheiden sich von denen aus dem Betrieb und werfen neue Fragestellungen zum radiologischen Arbeitsschutz auf. Während für Kernkraftwerke in Betrieb und Nachbetrieb die Zusammenhänge zwischen der Exposition des Personals und den die Exposition beeinflussenden Faktoren weitestgehend bekannt sind, wurde eine diesbezügliche detaillierte Untersuchung für Kernkraftwerke in Stilllegung noch nicht durchgeführt. Daher werden insbesondere radiologisch relevante Stilllegungstätigkeiten sowie Szenarien bei typischen Stilllegungstätigkeiten identifiziert, analysiert sowie ggf. Handlungs- bzw. Optimierungsbedarf für die Stilllegung abgeleitet.

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.

3. METHODIK

3.1 METHODIK ZUR UNTERSUCHUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN KERNTÉCHNISCHEN 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 ausgetreten. Die Betreiber der Anlagen in Betrieb und Nachbetrieb sind trotz des Ausstiegs aus ISOE im Rahmen der jährlichen Berichterstattung an die RSK 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 in den Vorläufervorhaben herausgestellt, dass die Sammlung der Expositionsdaten im Vergleich zu den Vorjahren erschwert wird, da die Betreiber ihre Expositionsdaten nicht mehr direkt an ISOE melden und die GRS dadurch teilweise auf andere Quellen angewiesen ist. Daher werden für Teilbereiche die Daten durch ergänzende Anfragen bei den jeweiligen Anlagen ergänzt.

Für die Datenerfassung der in Stilllegung befindlichen Anlagen gibt es eine solche standardisierte Datenerfassung nach ISOE nicht. Daher werden, soweit möglich, die Daten von den Anlagen in Berichtsform eingeholt. Allerdings hat sich in dem Vorläufervorhaben herausgestellt, dass die Sammlung der Expositionsdaten im Vergleich zu den Vorjahren erschwert wird, da es insbesondere bei Anlagen, bei denen die Stilllegungsphase begonnen hat, Verzögerungen in der Datenbereitstellung gibt, so dass die GRS auf andere Wege der Datenbeschaffung (Kontaktaufnahme zu den Aufsichtsbehörden oder den Anlagen selbst) angewiesen ist.

Die gesammelten Daten der in Betrieb/Nachbetrieb und in Stilllegung befindlichen Leistungskernkraftwerke werden jeweils auf Konsistenz geprüft und ggf. auf Basis von Berichten der Anlagen angepasst. Um eine zeitliche und sachliche Kontinuität der Datenerfassung zu gewährleisten, umfasst dies auch die Pflege und Ergänzung der bereits vorliegenden Zeitreihen. Für die Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung werden die Daten der Expositionen des Eigen- und Fremdpersonals der Anlagen mit Hilfe eines zielgerichtet vorbereiteten Fragebogens unter Berücksichtigung der Tätigkeitsschwerpunkte gesammelt und aufgearbeitet. Allerdings ist aufgrund der Bandbreite des Anlagenspektrums und der z. T. anders gelagerten Expositions- und Dosimetrie-Verhältnisse in diesen Anlagen der Informationsumfang im Vergleich zu dem der Kernkraftwerke eingeschränkt.

Die Ergebnisse der durchgeführten Analysen werden - unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus mehreren Anlagen als Querschnittsinformation - für die Ableitung von Hinweisen und Vorschlägen zur weiteren Verbesserung des Strahlenschutzes herangezogen. Dabei werden insbesondere auch sog. "good practices" - also strahlenschutztechnisch gewinnbringende Praktiken - identifiziert und kommuniziert. Falls die Datenanalyse besondere Vorkommnisse - insbesondere eine außergewöhnlich hohe Exposition des Personals - aufzeigt, werden diese tiefergehend untersucht. Dabei werden u. a. die Ursachen für die erhöhte Exposition identifiziert sowie der Umgang in der Anlage und ggf. getroffene Maßnahmen, um zukünftig solche Vorkommnisse zu verhindern, beleuchtet.

Zur Identifizierung und Analyse radiologisch relevanter Stilllegungsmaßnahmen und Szenarien bei typischen Stilllegungstätigkeiten sowie ggf. zur Ableitung von Handlungsempfehlungen bzw. Optimierungsbedarf für die Stilllegung wird zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt, um den relevanten Stand von Wissenschaft und Technik aufzuarbeiten. Darauf aufbauend werden radiologisch relevante Stilllegungstätigkeiten bzw. Szenarien bei typischen Stilllegungstätigkeiten deutscher Anlagen identifiziert (z. B. aus den anlagenspezifischen Berichten der Vorläufervorhaben, Informationen aus den Betriebsberichten der Anlagenbetreiber oder Erfahrungen aus anderen GRS-Vorhaben im Bereich der Stilllegung) und analysiert. Um einen möglichst engen Praxisbezug zu erreichen, wird dabei - wenn möglich - auch der Kontakt zu Anlagen, Gutachter*innen und ggf. Aufsichtsbehörden hergestellt. Die identifizierten Tätigkeiten und/oder Szenarien und die damit einhergehenden Expositionen werden abschließend bezüglich Möglichkeiten der Reduktion der Strahlenexposition im Sinne einer Optimierung untersucht, und es werden ggf. Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Die bei der Auswertung und Analyse 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.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 UNTERSUCHUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN

Die Daten der kerntechnischen Anlagen eines Jahres werden schwerpunktmäßig jeweils im zweiten darauffolgenden Jahr in den kerntechnischen Anlagen erhoben. 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.

Die Ergebnisse der Auswertungen werden für die Ableitung von Hinweisen und Vorschlägen zur weiteren Verbesserung des Strahlenschutzes herangezogen.

Um den Stand von Wissenschaft und Technik bei radiologisch relevanten Stilllegungstätigkeiten zu erarbeiten, wird eine Literaturrecherche durchgeführt. Darauf aufbauend werden radiologisch relevante Stilllegungstätigkeiten bzw. Szenarien bei typischen Stilllegungstätigkeiten deutscher Anlagen identifiziert und analysiert. Die identifizierten Tätigkeiten und/oder Szenarien und die damit einhergehenden Expositionen werden abschließend bezüglich Möglichkeiten der Reduktion der Strahlenexposition im Sinne einer Optimierung untersucht, und es werden ggf. Handlungsempfehlungen abgeleitet.

5. ERGEBNISSE

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

5.1 DATENERHEBUNG UND DOKUMENTATION

Mit der Datenerhebung zur Strahlenexposition des Personals in Kernkraftwerken in Betrieb/Nachbetrieb, Stilllegung und den Anlagen der Ver- und Entsorgung für das Berichtsjahr 2020 wurde begonnen.

5.2 OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN INSBESONDERE BEI BESONDEREN VORKOMMNISSEN UND RELEVANTEN STILLLEGUNGSTÄTIGKEITEN

Mit der Literaturrecherche zur Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik bei radiologisch relevanten Stilllegungstätigkeiten wurde begonnen.

5.3 INTERNATIONALER ERFAHRUNGSUSTAUSCH

Es erfolgte eine enge Mitarbeit in den Gremien und Arbeitsgruppen des ISOE, die die Sitzungen des ISOE Management Boards (MB, Dezember 2021 - Teilnahme über WebEx) sowie einen engen Austausch über E-Mail mit der ISOE WGDECOM zur Fortsetzung der Arbeiten zur tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition bei Anlagen in Stilllegung umfassten.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für das Jahr 2022 ist die Fortführung der Arbeiten geplant. Dies umfasst insbesondere die im Vorhaben vorgesehene Datensammlung, die Erstellung der jährlichen Berichterstattung zur Exposition in kerntechnischen Anlagen, die Arbeiten zu radiologisch relevanten Stilllegungstätigkeiten sowie Szenarien bei typischen Stilllegungstätigkeiten. Ebenso wird die Mitarbeit in den Gremien und Arbeitsgruppen des ISOE fortgesetzt, welche neben dem ISOE MB insbesondere auch die 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. Darüber hinaus sind Teilnahmen am nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch geplant, wie beispielsweise das ISOE International Symposium, das im Juni 2022 in Tours, Frankreich stattfinden soll.

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
01.12.2016

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. Schmidt / KEMF

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 ELF-MF 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 preB-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 eine Leukämie-spezifische Veränderung im Erbgut und scheinen daher als Tiermodell besonders geeignet. Eine Zuchtkolonie des Tiermodells soll am Fraunhofer ITEM etabliert und auf die benötigte Tierzahl expandiert werden (siehe Punkt 3.1 in Statusbericht zum Jahr 2018).

2.2 DEFINITION DER EXPOSITIONS-SZENARIEN UND UNTERSUCHUNGSZEITPUNKTE

Für die tierexperimentelle Überprüfung der epidemiologischen Hinweise auf einen möglichen Einfluss von 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 UND UNTERSUCHUNG 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 drei vorausgegangenen Studien an Mäusen soll dabei speziell auf die Entwicklung der T-Lymphozyten eingegangen werden.

3. METHODIK

3.1 VERSUCHSDESIGN

Vier Gruppen weiblicher Mäuse 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 sowie zusätzliche Käfigkontrolle), 10 μ T (mikro-Tesla) und 1 mT (milli-Tesla) exponiert. Die Nachkommen werden im entsprechenden ELF-Feld geboren und fortlaufend bis zu den drei Untersuchungszeitpunkten (7, 14, 28 Tage) befelddet. Für die Ausprägung der Leukämie-spezifischen Veränderung Sca1-ETV6-RUNX1 in der zu untersuchenden F1-Generation der Mäuse besteht eine Wahrscheinlichkeit von 50 %. Vorerst werden alle Nachkommen befelddet und nach Abschluss der jeweiligen Aufarbeitungen genotypisiert. Die exakte Aufschlüsselung der Tierzahlen in den jeweiligen Behandlungsgruppen kann dem Punkt 3.1 des Statusberichts im Programmreport 2018 entnommen werden (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808>).

3.2 IMMUNOLOGIE

Die Wirkung der prä- und postnatalen ELF-MF-Exposition auf die Jungtiere wird anhand von Blut- und Immunzelluntersuchungen im Vergleich sowohl zu scheinexponierten als auch Käfig-Kontrolltieren überprüft. Dabei wird der Fokus auf die Charakterisierung eines möglicherweise geschwächten oder mangelhaft ausgebildeten Immunsystems gelegt. Es werden Untersuchungen zur Immunhistopathologie und zum Immunstatus in immunologisch relevanten Organen wie Blut, Milz, Knochenmark und Thymus durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Punkte Abstimmung der (tier-)experimentellen Untersuchungen, Wiederaufbau der Expositionsanlage, Aufbau einer Mäusezucht sowie Festlegung der immunologischen Untersuchungen an der Maus können dem Punkt 4 des Statusberichts im Programmreport 2018 entnommen werden (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808>).

5. ERGEBNISSE

Der tierexperimentelle Teil der Studie ist vollständig abgeschlossen. Die Genotypen wurden den einzelnen Tieren zugeordnet. Eine Auswertung der erhobenen Gewichtsdaten der Tiere in den einzelnen Behandlungsgruppen ist erfolgt und die Auswertung der Differentialblutbild-Analyse ist abgeschlossen. Die durchflusszytometrische Auswertung für Thymus, Knochenmark, Blut und Milz ist abgeschlossen. Weiterhin wurden die Messungen und Auswertungen der Zytokinsekretions-Daten mittels MSD Multiplex Kits fertiggestellt.

Von allen relevanten Organen wurden immunhistologische Schnitte angefertigt, gefärbt und digitalisiert. Die Auswertung der immunhistochemischen Multiplexfärbung wurde vollständig etabliert und finalisiert. Die morphologische sowie die immunhistochemische Auswertung der histopathologischen Schnitte sind fertiggestellt.

Im Anschluss an die Finalisierung der Datenauswertung erfolgte die Entblindung der einzelnen Behandlungsgruppen, die ein Zusammenführen der Daten und die finale Interpretation inkl. Statistik ermöglicht.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die erhaltenen Daten und Ergebnisse zu Statistik werden in einem Abschlussbericht zusammengetragen und eine finale Interpretation erarbeitet. Voraussichtlicher Abschluss ist Ende März.

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 processes in humans as well as in animal and laboratory studies

Kennzeichen
3619S82464

Beginn
01.09.2019

Ende
31.08.2020

Fördermittel
EUR 59.708,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München

Projektleitung
D. Sachno

Fachbetreuung BfS
B. Henschenmacher / KEMF

verantwortlich für den Text
D. Sachno

1. ZIELSETZUNG

Eine Vielzahl wissenschaftlicher Studien beschreibt einen Anstieg der Konzentration freier Radikale als Resultat einer Exposition durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (EMF). Obwohl Sauerstoffmoleküle für das Überleben vieler Organismen unentbehrlich sind, können sie durch unterschiedliche Stoffwechselforgänge zu gefährlichen Nebenprodukten führen, die als reaktive Sauerstoffspezies (ROS) bezeichnet werden. Diese ROS 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 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 soll ein Review-Protokoll erstellt werden, 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 sollen. Um eine bestmögliche Bias-Vermeidung gewährleisten zu können, soll an dieser Stelle eine PROSPERO-Online-Registrierung der systematischen Literaturstudie erfolgen.

2.2 ERSTELLUNG DES SYSTEMATISCHEN REVIEWS

Im Anschluss an die Genehmigung des Review-Protokolls sollen die Literatursuche, -auswahl und -aufarbeitung der Daten, unter Beachtung der Richtlinien des Centre for Reviews and Dissemination, als systematisches Review erfolgen.

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 (Population, Exposure, Comparison, 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-Term, Verbindung der Suchbegriffe durch AND/OR etc.). Zusätzlich werden weitere Einschlusskriterien wie Sprache, Erscheinungsdatum, Art der Studie etc. definiert. Die Suchstrategie wird anhand vorab definierter Referenzartikel, die durch die Suche identifiziert werden, validiert.

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 werden 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“ dedupliziert, in die Literaturmanagement-Software „DistillerSR“ überführt 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 graphischen Daten wird vorab ein präzises Extraktionsprotokoll erstellt. Extrahierte Daten enthalten beispielsweise 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. Die Extraktion wird von einem Bearbeiter durchgeführt und im Anschluss von einem zweiten Bearbeiter überprüft.

4.3 BEURTEILUNG DER STUDIEN

Die interne Validität und die Qualität der eingeschlossenen Studien werden mit dem „Risk of Bias“-Tool des vom „Office of Health Assessment and Translation“ veröffentlichten Protokolls 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 Voreingenommenheitsrisiko
- „+“ wahrscheinlich geringes Voreingenommenheitsrisiko

- „-“ wahrscheinlich hohes Voreingenommenheitsrisiko
- „--“ definitiv hohes Voreingenommenheitsrisiko.

5. ERGEBNISSE

Das Review-Protokoll wurde erfolgreich finalisiert und die PROSPERO Registrierung abgeschlossen. Nach der im Review-Protokoll definierten Suchstrategie wurden die Datenbanken PubMed, Scopus, Web of Science und EMF-Portal durchsucht. Die Suchstrategie wurde an Hand von 72 sogenannten Goldstandard-Artikeln aus dem Jahresreport der SSM (Swedish Radiation Safety Authority) und eines Reviews (Schuermann et al. 2021) validiert.

In der finalen Suche wurden folgende Trefferzahlen erzielt: 2 080 Artikel in PubMed, 5 471 Artikel in Scopus, 3 400 Artikel in Web of Science und 7 294 im EMF Portal (<https://www.emf-portal.org/de>). Nach einer Bereinigung bezüglich der Duplikate blieben 14 361 Literaturstellen zum Screening und zur Auswahl relevanter Literatur übrig.

Das Screening- und das Datenextraktionsprotokoll wurde in „DistillerSR“ etabliert und eine Pilotstudie mit 100 zufällig ausgewählten Artikeln durchgeführt. Im Anschluss erfolgte eine Selektion der einzuschließenden Studien anhand des Titels und Abstracts der Artikel nach Punkt 4.1. durch zwei unabhängige Reviewer. Dabei wurden 1007 Artikel als relevant eingestuft, woraufhin die Volltexte der entsprechende Artikel in „DistillerSR“ hochgeladen worden sind.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Volltexte der 1007 Literaturstellen werden in einem zweiten Screening-Schritt detailliert auf ihre Relevanz geprüft. Aus Studien, die in diesem Prozess eingeschlossen werden, werden die notwendigen Daten 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

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 31.05.2022	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

verantwortlich für den Text
S. Schießl

1. ZIELSETZUNG

Die Realisierung eines flächendeckenden und kontinuierlichen Immissions-Monitorings elektromagnetischer Felder 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.

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.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

Als Grundlage zur Bearbeitung des Projekts wird der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik zusammengestellt und aufbereitet. Schwerpunkte sind hierbei die Signalstärke-Indikatoren der Mobilfunkstandards und deren Bezug zu den Messgrößen der Immissionsmesstechnik, die Verfügbarkeit der relevanten Informationen zur Immissionsabschätzung im Android-Betriebssystem sowie bestehende Arbeiten im Bereich des Vorhabens.

2.2 BEANTWORTUNG DER FRAGESTELLUNG: WELCHE MESSGENAUIGKEIT IST BEI NUTZUNG VON ENDGERÄTE-INTERNEN FELDSTÄRKE-PROXIES REALISTISCHERWEISE ERREICHBAR (AP 2)

Eine zentrale Fragestellung für die beabsichtigte Nutzung von Smartphone-Messwerten zur Immissionsabschätzung ist die Umrechnung von den aufgezeichneten Metriken in Feldstärkewerte. Daher soll der Zusammenhang zwischen den im Android-Betriebssystem zugänglichen Signalstärke-Indikatoren von Smartphones und der zugrunde liegenden Feldstärke bzw. Immission untersucht werden. Hierfür ist die unter realistischen Bedingungen erreichbare Feldstärke-Messgenauigkeit zu ermitteln, Einflussgrößen auf diese zu bestimmen und die Stärke der Einflüsse zu quantifizieren.

2.3 BEANTWORTUNG DER FRAGESTELLUNG: WELCHE GENAUIGKEIT KANN DURCH EINBEZIEHUNG WEITERER FÜR EIN MESSNETZWERK GENERELL ZUGÄNGLICHER INFORMATIONEN ERREICHT WERDEN? (AP 3)

Der Einfluss der Vergrößerung der Datenbasis durch die Einbeziehung der erfassten Daten vieler Smartphones auf die Genauigkeit der Feldstärkeerfassung ist zu bestimmen. Geeignete Maßnahmen zur Erhöhung der Genauigkeit der Feldstärkeermittlung sind zu erarbeiten, exemplarisch umzusetzen und unter realistischen Bedingungen zu validieren.

2.4 BEWERTUNG DER EIGNUNG DES KONZEPTS „SMARTPHONE-BASIERTES MESSNETZWERK“ ZUR QUANTITATIVEN ERFASSUNG DER EXPOSITION DER ALLGEMEINBEVÖLKERUNG MIT HOCHFREQUENTEN ELEKTROMAGNETISCHEN FELDERN DES MOBILFUNKS (AP 4)

Abschließend soll die Fragestellung, ob sich ein Smartphone-basiertes Messnetzwerk zur zuverlässigen repräsentativen Erfassung der Exposition der Allgemeinbevölkerung mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks eignet, nachvollziehbar und objektiv beantwortet werden. Vorteile und Schwachstellen sind zu identifizieren und abzuwägen. Der Implementierungsaufwand eines derartigen Systems ist außerdem abzuschätzen.

3. METHODIK

Der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik wird anhand einer Literaturstudie in einschlägigen Datenbanken und durch Internetrecherche zusammengetragen und in einem Bericht aufgearbeitet.

Der Zusammenhang der Signalstärke-Indikatoren von Smartphones und der vorherrschenden Exposition wird anhand von Labor- und Feldmessungen untersucht, um daraus Umrechnungsfaktoren in Feldstärkewerte und deren typische Schwankungsbreiten abzuleiten. Labormessungen erlauben dabei die Untersuchung unter kontrollierbaren Bedingungen und in Signalpegelbereichen, die im freien Feld nur selten anzutreffen sind, während Messungen im freien Feld Untersuchungen unter typischen Ausbreitungsbedingungen ermöglichen. Vor allem für die Feldmessungen kommt eine speziell für diesen Zweck vom Projektnehmer entwickelte Smartphone-App zur Erfassung der Messdaten aus dem Android-Betriebssystem zum Einsatz.

Der Einfluss der Vergrößerung der Datenbasis wird anhand eines durch ein existierendes Crowdsourcing-Netzwerk im Laufe eines Jahres im Großraum München erhobenen Datensatzes analysiert. Die erarbeiteten Auswertungsmethoden werden anschließend an einem Datensatz im Umfang eines Monats vom Stadtgebiet Aachen angewendet und mit Feldstärkemessungen aus dem Erhebungszeitraum verglichen.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Literaturstudie wurde unter Zuhilfenahme einer Literaturverwaltungs-Software durchgeführt. Die Quellen wurden kategorisiert und thematisch zusammenhängend ausgewertet und die Erkenntnisse in einem Zwischenbericht dokumentiert.

Für die Labormessungen wurden geeignete Messaufbauten definiert und Messskripte zur Steuerung des Messablaufs und Abspeicherung der Messdaten programmiert. Die Messreihe mit insgesamt 30 Smartphones wurde abgeschlossen und die Messdaten ausgewertet. Zur Durchführung der Messungen im freien Feld wurden geeignete Messpunkte ausgewählt und ein entsprechender Messablauf festgelegt. Zur optimalen Unterstützung der Messreihe wurde die vorhandene Smartphone-App weiterentwickelt und auf die durchzuführende Messreihe angepasst. Auch diese Messreihe ist abgeschlossen und wurde ausgewertet.

Der für die Untersuchung des Einflusses der Vergrößerung der Datenbasis benötigte Datensatz wurde beschafft und einer gründlichen Plausibilitätsprüfung unterzogen. Unvollständige, unplausible und unzuverlässige Einträge wurden vor der weiteren Verarbeitung aussortiert. Die Ableitung von Immissionswerten wurde mithilfe der zuvor bestimmten Umrechnungsfaktoren und einem geeigneten Interpolationsverfahren durchgeführt.

tionsverfahren vorgenommen, sodass geschätzte Immissionskarten für das Untersuchungsgebiet erstellt werden konnten. Die Messungen zur Validierung der Ergebnisse wurden mit einem Feldstärkemessgerät durchgeführt und die Werte denjenigen aus der Immissionsabschätzung aus den Smartphone-Daten gegenübergestellt.

5. ERGEBNISSE

Die Analyse der Eigenschaften der Signalstärke-Indikatoren der Mobilfunkstandards im Rahmen der Literaturstudie ergab, dass diese hinsichtlich ihrer Definition einen direkten Bezug zur Exposition durch die Mobilfunkdienste aufweisen. Die in der Immissionsmesstechnik verwendeten Messverfahren beruhen auf den gleichen Referenzsignalen wie die Signalstärkemessungen der Smartphones. Außerdem zeigte sich, dass die für eine Expositionsabschätzung grundsätzlich notwendigen Parameter im Android-Betriebssystem prinzipiell abrufbar sind. Im Zuge der Umsetzung der Smartphone-App für die Messungen konnte dies auch praktisch verifiziert werden. Bestimmte Parameter sind zum Teil jedoch erst in neueren Betriebssystemversionen und abhängig von der Implementierung der Smartphone-Hersteller verfügbar. Weiterhin wurde durch die Literaturstudie ersichtlich, dass die dem Vorhaben zugrunde liegende Fragestellung bislang nicht umfassend beantwortet wurde.

Die Ergebnisse der Labormessungen zeigen, dass für den Fall eines aus nur einer Richtung einfallenden Signals eine deutliche Abhängigkeit des Signalstärkepegels von der Einfallsrichtung des Signals besteht. Dieser Spezialfall tritt außerhalb des Labors allerdings ausschließlich bei Sichtverbindung und auch dann nur näherungsweise auf, da durch Reflexionen fast immer Mehrwegeausbreitung vorliegt, sodass ein Signal aus mehreren Richtungen beim Endgerät eintrifft. Aus diesem Grund wurden die Labormessungen durch Messungen im freien Feld ergänzt, um die typischen Ausbreitungsbedingungen in verschiedenen Umgebungen (freies Feld, Vorstadt, Innenstadt, gewerblich) zu berücksichtigen. Die Ergebnisse der Außenmessreihe demonstrieren, dass sich ein im Mittel konstanter Zusammenhang zwischen elektrischer Feldstärke und dem jeweiligen Signalstärke-Indikator des Mobilfunkstandards ergibt. Die Untersuchungen zeigen außerdem, dass sich der Umrechnungsfaktor abhängig vom genutzten Frequenzband und dem Gerätemodell unterscheiden kann.

Bei der statistischen Analyse des Crowdsourcing-Datensatzes zeigte sich eine deutliche Ungleichverteilung über die drei Netzbetreiber. Noch stärker fällt das Ungleichgewicht bei der Verteilung auf die verschiedenen Mobilfunkgenerationen aus. Während LTE über 84 % aller Datensätze ausmacht, sind es bei UMTS 13,6 % und bei GSM lediglich 2,3 %. Es zeigte sich außerdem, dass der Datenumfang des genutzten Crowdsourcing-Netzwerkes über den Zeitraum für einen Monat nicht ausreicht, um Immissionsabschätzungen vornehmen zu können. Daher wurden Validierungsmessungen auch für den Münchener Datensatz durchgeführt und ausgewertet. Die ungleiche Abdeckung der Mobilfunkstandards schlägt sich auch in der Übereinstimmung der Immissionsabschätzung mit den Validierungsmessungen nieder. Während für LTE eine in vielen Fällen passable Übereinstimmung festgestellt werden konnte, war für UMTS an mehreren Messorten überhaupt keine Immissionsschätzung aus den Smartphone-Daten möglich. Für GSM konnte nur für wenige Messorte eine Immissionsabschätzung ermittelt werden, die aufgrund unvollständiger Erfassung aller Beiträge fast durchgehend eine massive Unterschätzung der Immission darstellte. Daraus kann geschlossen werden, dass eine sinnvolle Schätzung der Immission allenfalls für den aktuell am meisten von Smartphones genutzten Mobilfunkstandard möglich sein wird.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

In der letzten Projektphase erfolgt nun eine Zusammenfassung sämtlicher erzielter Erkenntnisse in Form eines Abschlussberichts und die Bewertung der Eignung des Konzepts eines HF-Messnetzwerks zur Expositionsabschätzung im Mobilfunk.

Thema

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

Subject

Effects of centi- and millimeter wave exposure (5G frequencies) 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 / KEMF

verantwortlich für den Text
Prof. Dr. A. Lerchl

1. ZIELSETZUNG

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 kommenden Frequenzen im Bereich von etwa 27 GHz 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.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AP 1: AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK SOWIE GEPLANTE VORGEHENSWEISE

Das Ziel dieses Arbeitspakets ist die Sichtung aller wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu biologischen Wirkungen und Wirkmechanismen im Frequenzbereich 3 - 100 GHz.

2.2 AP 2: EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Es sollen Expositionsanlagen geplant und gebaut werden, die es ermöglichen, in Kultur befindliche Zellen der Haut (dermale Fibroblasten und Keratinozyten) mit definierten elektromagnetischen Feldern (27 GHz und über 40 GHz) zu beaufschlagen. Eine Kontrolle wird jeweils mitgeführt. Die Temperaturen während der Exposition sind aufzuzeichnen. Die Leistungsflussdichte soll 1 mW/cm² bzw. 10 mW/cm² betragen. Die Exposition hat verblindet zu erfolgen. Ein neuartiges experimentelles Design soll die simultane Temperaturkontrolle während der Exposition in identischen Petrischalen ohne Zellen erlauben.

2.2.1 Etablieren der Kulturen der Zelllinien

Es sind menschliche Zelllinien (Fibroblasten und Keratinozyten) so in Kultur zu nehmen, dass sie in ausreichender Zahl für die Exposition zur Verfügung stehen und den berechneten Expositionsbedingungen ausgesetzt werden. Weiterhin ist die Gewinnung und Aufreinigung der mRNA und DNA zu etablieren.

2.3 AP 3: ZU UNTERSUCHENDE BIOLOGISCHE ENDPUNKTE

Es sollen Keratinozyten (HaCaT) und Fibroblasten (HDF) exponiert und die Genexpressionsmuster sowie der DNA-Methylierungsstatus analysiert werden.

3. METHODIK

Die Exposition der Zellen erfolgt in sehr großen Inkubatoren, in denen sich die Antennen der Expositionsanlagen und die Petrischalen an genau definierten Stellen befinden. Durch zufällige, im Steuerungsrechner generierte und gespeicherte Zuordnungen werden pro Einzelexperiment die Antennen eines Inkubators mit dem Generator verbunden, der sich zwischen den Inkubatoren befindet. Die Exposition wird per Mausklick gestartet und nach der vorgegebenen Zeit automatisch beendet. Währenddessen erfolgt die fortlaufende Speicherung der Expositionsstärken (durch reflektierte elektromagnetische Felder) und der Temperaturen. Der technische Kooperationspartner kann jederzeit online auf die Daten zugreifen sowie ggf. notwendige Anpassungen oder Änderungen der Expositionsparameter vornehmen. Die Zellen werden unmittelbar nach der Exposition geerntet, die mRNA und DNA extrahiert und eingefroren. Am Ende einer Versuchsserie werden die Expressionsmuster und die Methylierungen durch ein externes Labor ermittelt und danach durch den Auftragnehmer einer aufwändigen biostatistischen Analyse unterzogen. Die Validierung der daraus gewonnenen Ergebnisse erfolgt mittels Real-Time quantitativer PCR (qRT-PCR) ebenfalls durch ein externes Labor.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 START DER EXPOSITION

Die Expositionsanlagen sind durch den technischen Kooperationspartner fertiggestellt, montiert und kalibriert. Die numerische Simulation der Exposition ist erfolgt und in einem Bericht detailliert dokumentiert. Die erforderliche Güte der Exposition wird bei beiden Frequenzen (27 GHz bzw. 40,5 GHz) erreicht.

Weiterhin wurden die Kulturbedingungen der beiden Zelltypen optimiert und die Zellen erfolgreich vermehrt. Es wurden von beiden Zelltypen entsprechend viele Zellstocks erstellt, dass sich die Passagen der jeweiligen Zelltypen bei der Exposition maximal um eine Passage unterscheiden. Die Gewinnung der mRNA und DNA ist ebenfalls etabliert.

Die Exposition der Zellen konnte bei einer Leistungsflussdichte von 1 mW/cm^2 wie geplant durchgeführt werden. Bei 10 mW/cm^2 führte die Exposition jedoch zu einer so starken Temperaturerhöhung des Kulturmediums, dass diesem durch Absenkung der Inkubatortemperatur entgegengewirkt werden musste, um auch hier eine Mediumstemperatur von ca. 37°C zu erreichen. Hierdurch wurde auch eine vergleichbare Temperatur der exponierten Zellen mit den schein-exponierten Kontrollen sichergestellt. Um die Verblindung der Versuche weiterhin zu gewährleisten, wurde eine Person hinzugezogen, die weder an der Durchführung, noch an der Auswertung beteiligt ist. Sie wurde bei den Versuchen mit der Leistungsflussdichte 10 mW/cm^2 über die Zuordnung der Inkubatoren informiert und stellte die Temperaturen der Inkubatoren mindestens 12 h vor den Versuchen entsprechend manuell ein.

Die Absenkung der Inkubatortemperatur führte jedoch zur Bildung von Kondenswasser am Schalendeckel und dem Schalenrand. Da dies nicht nur eine Entblindung der Versuche, sondern gegebenenfalls auch eine Aufkonzentrierung des Mediums in den exponierten Ansätzen zur Folge hätte, wurde eine Deckelheizung entwickelt, die sowohl bei den exponierten als auch den schein-exponierten Ansätzen zum Einsatz kommt und die Kondenswasserbildung weitestgehend unterbindet.

Neben den Lieferverzögerungen für verschiedene Verbrauchsgegenstände (insbesondere den Zellkulturschalen für die Exposition) führte die Entwicklung und Optimierung der Expositionsbedingungen bei einer Leistungsflussdichte von 10 mW/cm^2 zwischen März und Juni 2021 zu zeitlichen Verzögerungen beim Projektablauf.

4.2 GENEXPRESSION, METHYLIERUNGSSTATUS UND VALIDIERUNG

Die Exposition der Zellen und die Gewinnung der Nukleinsäuren für die Genanalysen konnten abgeschlossen werden. Das externe Labor hat die Genexpressionsdaten und Daten zum Methylierungsstatus übermittelt und diese werden derzeit bioinformatisch ausgewertet. Gleichzeitig werden die Expositionsversuche mit den Fibroblasten (HDF) wiederholt, da die Menge an isolierter mRNA speziell bei diesem Zelltyp voraussichtlich nicht für die Validierung mittels qRT-PCR reichen wird.

5. ERGEBNISSE

Die Literaturrecherche wurde erfolgreich abgeschlossen. Die Übersicht erlaubt eine detaillierte Einschätzung der bisherigen Forschungsergebnisse und der Lücken.

Bisher liegen keine Ergebnisse aus den Versuchen zu Punkt 4.2 vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Expositionen der Wiederholungsversuche werden wie geplant durchgeführt. Sobald die Ergebnisse der bioinformatischen Auswertung vorliegen, werden die hierbei ermittelten Ziel-Gene mittels qRT-PCR validiert. Mit weiteren kritischen Verzögerungen ist nach derzeitigem Stand nicht zu rechnen.

Thema			
Einfluss der zwischenfrequenten Magnetfelder der induktiven Leistungsübertragung beim Aufladen von Elektrofahrzeugen auf das Verhalten von Labornagern			
Subject			
<i>Influence of intermediate frequency electromagnetic fields from inductive power transmission during the charging of electric vehicles on the behaviour of laboratory rodents</i>			
Kennzeichen 3620EMF401	Beginn 01.04.2021	Ende 30.03.2023	Fördermittel EUR 1.396.776,-
Forschungs- / Auftragnehmer Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München			
Projektleitung Dr. A. Bitsch	Fachbetreuung BfS Dr. B. Pophof / KEMF		verantwortlich für den Text Dr. A. Bitsch, D. Sachno

1. ZIELSETZUNG

Aufgrund der rasch fortschreitenden technologischen Entwicklung, von der drahtlosen Telekommunikation bis hin zum Ausbau des Stromnetzes und einer Vielzahl industrieller Anwendungen, nimmt die Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (EMF) aller Frequenzbereiche stetig zu. Während es eine umfangreiche Sammlung an publizierter Literatur zu biologischen Auswirkungen der Exposition gegenüber extrem niederfrequenten Magnetfeldern (ELF-MF) und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (RF-EMF) gibt, ist die Anzahl der Studien zu potenziellen Gesundheitsrisiken von Magnetfeldern im Mittelfrequenzbereich (IF-MF) (300 Hz bis 10 MHz) bislang noch sehr begrenzt. Im Gegensatz zur Leistung von Ladestationen für Mobiltelefone, die nur wenige Watt beträgt, bewegt sich die Leistung, die zum drahtlosen Laden von Elektroautos benötigt wird, im zweistelligen Kilowattbereich. Die Frequenz liegt hier in der Regel im Bereich von 20-150 kHz. Selbst wenn die Geometrie der Spulen und die Positionierung des Fahrzeugs, z. B. des Pkw, optimal sind, lassen sich hier magnetische Streufelder nicht vermeiden. Aufgrund der vergleichsweise hohen Leistungsübertragung liegen diese Streufelder sehr dicht an den gesetzlich festgelegten Expositionsgrenzwerten. Es ist deshalb davon auszugehen, dass Personen, die direkt am Aufladen von Fahrzeugen beteiligt sind, verstärkt gegenüber 20 kHz, 85 kHz und 140 kHz IF-EMF von bis zu 6,25 μT ausgesetzt werden.

Da einige Studien Hinweise darauf liefern, dass eine Exposition gegenüber IF-EMF während sensibler Lebensabschnitte eines Organismus, insbesondere während der Entwicklung, negative Auswirkungen auf das sich entwickelnde Gehirn haben könnte und somit zu einer Beeinträchtigung von Lern-, Gedächtnis- und Verhaltensmustern führen kann, soll in dieser Studie einerseits das Verhaltens- und Lernmuster und andererseits die eine mögliche (histo)pathologische Organveränderung mit Hinweisen auf eine Tumorentstehung untersucht werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 LITERATURZUSAMMENFASSUNG

In einem ersten Arbeitsschritt sollen alle wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Exposition gegenüber magnetischen Feldern im Zwischenfrequenzbereich betrachtet und zusammengefasst werden. Im Einzelnen soll dabei auf bereits durchgeführte Arbeiten des Fraunhofer ITEM, Fraunhofer IZI sowie der Seibersdorf Labor GmbH eingegangen werden, wobei die Methodik, Vorgehensweise, Daten und Ergebnisse dieser Arbeiten detailliert betrachtet werden sollen. Zusätzlich sollen Untersuchungen und Ergebnisse laufender sowie abgeschlossener Studien anderer Stellen, die nach dem Abschluss des BfS Forschungsvorhabens [FKZ: 3616S82437] veröffentlicht wurden und dort nicht mehr eingeflossen sind, aufgearbeitet und im aktuellen Kontext detailliert betrachtet werden.

2.2 IN-LIFE-PHASE UND FINALE UNTERSUCHUNGEN

Zur Prüfung eines möglichen neurotoxischen Effektes (Verhalten, Histopathologie) einer IF-MF Exposition in Mäusen, sollen jeweils 80 Tiere pro Expositionsgruppe dauerhaft gegenüber IF-MF mit Frequenzen von 85 kHz, 140 kHz und entsprechender Scheinexposition exponiert werden. Für die Untersuchung möglicher adverser Effekte sind drei etablierte Verhaltenstests zur Beweglichkeit (Rotarod), Gedächtnis (8-Arm Labyrinth) und Orientierung (Open Field Test) nach einer Expositionsdauer von 200 Tagen durchzuführen. Im Anschluss an die erfolgreiche Untersuchung sollen die Tiere für weitere 100 Tage exponiert und auf pathologische Veränderungen oder Tumore untersucht werden.

3. DURCHFÜHRUNG

3.1 LITERATURSTUDIE

Publizierte Artikel zu verhaltensbezogenen, (neuro)toxischen oder krebserregenden Wirkungen von intermediären EMF werden durch eine Suche in der thematisch spezialisierten Literaturdatenbank EMF-Portal identifiziert und mit einer Suche in PubMed und Scopus abgeglichen. Alle identifizierten Artikel werden durch ein sorgfältiges Screening-Verfahren auf ihre Relevanz geprüft, bei vorliegender Eignung in die Literaturzusammenfassung eingeschlossen und entsprechend der Fragestellung ausgewertet.

3.2 KONZEPTION UND AUFBAU DER EXPOSITIONSANLAGEN

Für die EMF-Exposition der Mäuse werden Expositionsanlagen konstruiert, die eine dauerhafte, verblindete Exposition von jeweils 80 frei beweglichen Mäusen bei Frequenzen von 85 kHz und 140 kHz und entsprechender Scheinexposition ermöglichen. Dabei wird auf eine homogene Exposition innerhalb des Expositionsvolumens geachtet.

3.3 STUDIENDESIGN

An erster Stelle steht die Auswahl eines geeigneten Tiermodells; hier kommen z. B. die C57BL/6J-Mäuse infrage, welche als allgemeines Mehrzweckmodell, unter anderem für Sicherheits- und Wirksamkeitstests in der chemischen und pharmazeutischen Entwicklung eingesetzt werden. Jeweils 80 C57BL/6J-Mäuse pro Gruppe (insgesamt 320 Tiere) werden gegenüber den beiden o. g. Frequenzen bzw. entsprechender Scheinexposition exponiert. Beginnend mit einem Alter von 3 Monaten erfolgt die kontinuierliche, vollständig verblindete Ganzkörperexposition der Tiere über einen Zeitraum von 300 Tagen, wobei an Tag 200 eine circa zweiwöchige Unterbrechung der Exposition zur Durchführung der in 3.4 beschriebenen Verhaltenstests stattfindet. Die Exposition wird daraufhin bis Tag 300 weitergeführt, woraufhin eine histopathologische Untersuchung aller Versuchstiere erfolgt.

3.4 VERHALTENSTESTS

Es werden die nachfolgenden drei Verhaltenstests zur Beweglichkeit, Gedächtnis und Orientierung durchgeführt:

1. Rota-Rod
2. 8-Arm Labyrinth
3. Elevated Plus Maze

Alle Verhaltenstests sind in der Abteilung Molekulare Wirkstoffbiochemie und Therapieentwicklung des Fraunhofer IZI (Fraunhofer-IZI-MWT) in der täglichen Laborroutine etabliert (inklusive detaillierter SOPs, GLP-Zertifikat etc.) und werden nach 200 Tagen Exposition durchgeführt. Die Zahl der getesteten Tiere wurde so gewählt, dass in der Statistik eine Power von 80 % nicht unterschritten wird. Es ist geplant jedes Tier nur in einem Verhaltenstest zu untersuchen. Die 80 Tiere je Gruppe werden daher entsprechend der mit dem Programm G*Power 3.1.9.4 durchgeführten Power-Analyse in Untergruppen à 22 Tiere aufgeteilt.

3.5 GEWEBEPROBEN UND HISTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Nach einer Gesamtexpositionsdauer von 300 Tagen werden alle Tiere des Experiments histopathologisch betrachtet. Dazu werden alle relevanten Organe in Anlehnung an die internationale OECD Richtlinie (OECD guideline 451 - CARCINOGENICITY STUDIES) aufgearbeitet und histologisch auf Anzeichen von Läsionen, pathologischen Veränderungen oder Tumoren untersucht. Werden in den Verhaltens-tests Auffälligkeiten in einer Gruppe festgestellt, werden diese Ergebnisse bei der histologischen Aufarbeitung des Gehirns insofern berücksichtigt, dass die zu dieser Veränderung korrespondierenden Gehirnareal zusätzlich zu den standardmäßig zu untersuchenden Gehirnabschnitten untersucht werden.

4. ERGEBNISSE

Im Verlauf der Literatursuche wurden 1 533 potentiell relevante Artikel identifiziert, von denen 19 in die Literaturzusammenfassung eingeschlossen wurden. Eine Auswertung der eingeschlossenen Literatur wurde in Form eines ersten Arbeitspaket-Berichtes eingereicht. Das Ergebnis der Literaturstudie zeigte keine Hinweise auf eine mögliche karzinogene Wirkung einer IF-EMF Exposition. Trotz spärlicher Datenlage wurden allerdings EMF-induzierte Abweichungen im Verhalten von Mäusen festgestellt, die mit Bezug auf weitere Untersuchungen erhöhte Aufmerksamkeit bedürfen.

Weiterhin wurde der Tierversuchsantrag erstellt und bei der entsprechenden Behörde eingereicht.

5. GEPLANTE WEITERARBEIT

Nach erfolgreicher Tierversuchsgenehmigung wird der Bau der Expositionsanlage realisiert, die Tiere bestellt und die geplante Exposition durchgeführt.

Thema

Smart Cities: Abschätzung der Gesamtexposition des Menschen durch zusätzliche 5G Mobilfunktechnologien anhand modellierter Zukunftsszenarien

Subject

Smart cities: Estimation of resulting human exposure caused by additional 5G mobile communication technology based on numerical modelling of future scenarios

Kennzeichen 3620KEMF201	Beginn 01.04.2021	Ende 31.01.2023	Fördermittel EUR 448.125,-
-----------------------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Forschungs- / Auftragnehmer
Seibersdorf Labor GmbH, A-2444 Seibersdorf, Österreich

Projektleitung Dipl.-Ing. G. Schmid	Fachbetreuung BfS Dr. J. Kuhne / KEMF	verantwortlich für den Text Dipl.-Ing. G. Schmid
---	---	--

1. ZIELSETZUNG

Die derzeit in der ersten Phase der Markteinführung befindliche fünfte Mobilfunkgeneration (5G) wird innerhalb der nächsten 10 Jahre zu vielen neuen Anwendungen führen. Um diese Anwendungen realisieren zu können, wird die Struktur der Mobilfunknetze modifiziert bzw. ausgebaut. Netzverdichtung, vor allem durch vermehrte Installation von Kleinzellen, und der Einsatz von Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO)-Techniken mittels adaptiver Antennensysteme sind nur zwei Beispiele der bereits gegenwärtig in Umsetzung befindlichen Neuerungen. Weitere werden in den nächsten Jahren, spätestens mit der Nutzung der höheren Frequenzbereiche um 27 GHz (FR2) innerhalb der nächsten 5-10 Jahre folgen. Damit einhergehend ist zu erwarten, dass sich die Verteilungsmuster der hochfrequenten elektromagnetischen (HF-EMF) Mobilfunk-Immissionen, maßgeblich ändern werden.

Projektziel ist es daher, die zukünftige Entwicklung der Gesamtexposition der Bevölkerung in Deutschland durch die HF-EMF des Mobilfunks (Infrastruktur, Endgeräte und zugehöriger funkbasierter Netzzugangstechnologien) auf Basis von realistischen urbanen Szenarien mittels aktueller Simulationsmethoden abzuschätzen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die oben genannte Zielsetzung wird in die folgenden Einzelzielsetzungen gegliedert:

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK UND DETAILIERUNG DER PROJEKTPLANUNG

Im ersten Schritt werden die für das Vorhaben relevanten Informationen über die gegenwärtige Mobilfunktechnologie und deren absehbare Entwicklung recherchiert und systematisch dokumentiert. Insbesondere werden dabei Daten bezüglich der eingesetzten Antennentechnik, Frequenzbereiche, Zugriffsverfahren, Duplexverfahren und Übertragungsprotokolle, Sendeleistung unterschiedlicher Geräteklassen, regulatorische Randbedingungen sowie absehbare Anwendungsszenarien und Nutzungsmuster erhoben.

Parallel dazu werden kommerziell verfügbare und für Feldverteilungsberechnungen im hier relevanten Frequenzbereich geeignete Simulationssoftware-Pakete recherchiert, auf Basis von temporären Testlizenzen eingehend getestet und im Hinblick auf ihre Eignung für das Vorhaben systematisch bewertet. Das bestgeeignete Softwarepaket wird für die Durchführung des Vorhabens beschafft.

2.2 VORHERSAGE UND ENTWICKLUNG VON MODELLSZENARIEN

Ausgehend von den Erkenntnissen der Bestandsaufnahme werden drei unterschiedliche absehbare Szenarien für die zukünftige Entwicklung der (Mobil-) Funktechnik, einschließlich 5G FR2, innerhalb der nächsten 10 Jahre entwickelt, insbesondere unter Berücksichtigung von expositionsrelevanten Aspek-

ten, betreffend Funktechnik, Nutzungsverhalten, Auslastung, Möglichkeiten bezüglich Netzaus- und -umbau sowie Anwendungen.

In einem nächsten Schritt wird auf Grundlage von Kartenmaterial deutscher Städte ein für hochauflösende Feldberechnungen geeignetes 3D-Computermodell einer Stadt mit Mobilfunkversorgung entwickelt, wobei möglichst alle die Feldausbreitung beeinflussenden Gegebenheiten (Topologie, Grünanlagen, unterschiedliche Bebauungsdichten und -höhen etc.) in diesem Modell abgebildet werden sollen. Das zu entwickelnde 3D-Computermodell soll zumindest zehn typische Expositionsszenarien (zwei davon Indoor) abbilden. Mit diesem 3D-Computermodell werden insgesamt vier unterschiedliche Simulationsmodelle erstellt. Eines dieser Modelle soll den gegenwärtigen Stand bezüglich Ausbau/Technik und Nutzung von Mobilfunktechnik (inkl. hoheitlicher Netze und WLAN) abbilden. Die drei weiteren Simulationsmodelle werden auf Basis der erarbeiteten Entwicklungsvorhersagen erstellt.

2.3 ENTWICKLUNG EINER METHODIK ZUR VORHERSAGE VON FELDVERTEILUNGSMUSTERN UND EXPOSITIONEN, DIE DURCH DIE EINFÜHRUNG VON 5G ENTSTEHEN KÖNNEN

Aufgrund der Vielfalt der Einflussparameter und deren großer zu erwartender Schwankungsbreite in der Praxis ist es innerhalb eines zeitlich sinnvollen Rahmens nicht möglich, vollständige Feldausbreitungssimulationen für alle möglichen Kombinationen dieser Einflussparameter durchzuführen und auszuwerten. Es ist daher notwendig, einen physikalisch sinnvoll gewählten Satz aus Feldausbreitungssimulationen mit nachfolgenden, im Zuge des Vorhabens zu entwickelnden, numerischen Werkzeugen („Expositionssimulationen“) zu kombinieren. Dazu sind taugliche Berechnungstools zu entwickeln.

2.4 BESTIMMUNG DER FELDVERTEILUNGSMUSTER UND EXPOSITIONEN MITTELS COMPUTERSIMULATIONEN

Mittels der entwickelten Methode werden Feldausbreitungssimulationen und Expositionssimulationen für den gegenwärtigen Stand der Mobilfunktechnik und für die drei unterschiedlichen vorhergesagten zukünftigen Entwicklungen durchgeführt.

2.5 ERGEBNISZUSAMMENFASSUNG UND IDENTIFIKATION DES WEITEREN FORSCHUNGSBEDARFS

Alle Ergebnisse werden zusammengefasst und hinsichtlich ihrer Aussagekraft und möglicher Einschränkungen ihrer Gültigkeit kritisch diskutiert und daraus strahlenschutztechnisch relevante offene Fragen sowie weiterer Forschungsbedarf identifiziert.

3. METHODIK

Die Bestandsaufnahme erfolgt auf Basis von Technologierecherchen im Internet.

Bei den Tests der Softwarepakete für die Feldausbreitungsberechnungen werden als Bewertungskriterien die von den Softwarepaketen gebotenen Möglichkeiten zur Berücksichtigung der relevanten technischen Parameter und deren recherchierte Ausprägungsbandbreite (Frequenzen, Antennentechnik etc.) in den Berechnungsmodellen sowie die Möglichkeiten des Imports gängiger 3D-Kartenmaterial-Formate und entsprechender Parametrisierung (Materialeigenschaften) der darin enthaltenen Objekte zugrunde gelegt. Schließlich erfolgt auch eine Validierung der mit den Softwarepaketen erhaltenen Ergebnisse auf Grundlage eines Vergleichs von Berechnungs- und Messergebnissen.

Die der Entwicklung der zu untersuchenden Modellszenarien vorangestellte Vorhersage zukünftiger Entwicklungen der Mobilfunktechnologie erfolgt auf Basis einer zweistufigen Delphi-Befragung (Online-Fragebogen) von ausgewählten Expert*innen aus Industrie, Forschungseinrichtungen und Behörden mit Aufgaben im Bereich der Infrastrukturentwicklung.

Bei der anschließenden Erstellung des 3D-Simulationsmodells zur Berechnung der Feldverteilungsmuster werden alle betrachteten und relevanten Mobilfunk-Komponenten (Antennen, Endgeräte) im Simulationsmodell integriert und für die Berechnung der Feldverteilung parametrisiert, wobei rechtliche und normative Vorgaben sowie Randbedingungen der Funknetzplanung berücksichtigt werden, um realistische Verhältnisse zu gewährleisten. Aus dem Satz der damit durchzuführenden Feldausbreitungssimulationen müssen die Auswirkungen aller wellenausbreitungs-physikalischen Einflussparameter jeder betrachteten Feldquelle auf die resultierende Immissionsverteilung ableitbar sein.

Die Ergebnisse dieser Feldausbreitungssimulationen bilden die Grundlage für die Berechnung der resultierenden Exposition der Allgemeinbevölkerung, die mittels eines eigens zu entwickelnden Berechnungstools durchgeführt wird („Expositionssimulationen“). In diesen Expositionssimulationen werden die Ergebnisse aus den Feldausbreitungssimulationen unter Berücksichtigung zeitlich dynamisch veränderlicher Parameter zur resultierenden Exposition superponiert, wobei z. B. die Verteilung und Dichte der Endgeräte, Benutzerverhalten (Up- und Download-Datenrate, statisch oder bewegt), räumliche Verteilung, Antennentechnik, genutzte Frequenzen und Sendeleistung der Sendeanlagen, dynamische Anpassung der Sendeleistung und Antennencharakteristik berücksichtigt werden. Es werden jeweils typische und maximale Expositionen im für die Allgemeinbevölkerung zugänglichen Bereich ermittelt, und die Ergebnisse für die Szenarien entsprechend der unterschiedlichen vorhergesagten zukünftigen Entwicklungen untereinander sowie mit den Ergebnissen für den gegenwärtigen Stand der Mobilfunktechnik verglichen.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Recherche zur Aufarbeitung des relevanten Kenntnisstandes und die Tests und Validierung der Softwarepakete ist inhaltlich abgeschlossen. Der zugehörige Zwischenbericht ist in Arbeit. Parallel dazu laufen gegenwärtig die Vorbereitungen für die Delphi-Befragung (Recherche, Auswahl bzw. Einladung der Expert*innen, Zusammenstellung des Fragebogens für die erste Befragungsrunde). Nach Abschluss und Auswertung der Delphi-Befragung erfolgt die plangemäße Weiterführung der Arbeiten (siehe oben).

5. ERGEBNISSE

Die durchgeführten Technologierecherchen zeigten, dass die Verfügbarkeit von 5G-Technologie in FR1 seitens der Hersteller grundsätzlich verfügbar ist, deren Verbreitung sich gegenwärtig jedoch noch auf die klassischen Anwendungen beschränkt (Mobiltelefonie, Wireless Broadband Access). Die meisten dem Begriff „Smart Citys“ zuordenbaren Anwendungen existieren derzeit noch in Form von Pilotprojekten, die in großem Umfang staatlich gefördert wurden bzw. werden. Zudem handelt es sich dabei derzeit in den allermeisten Fällen um Anwendungen, die auch ohne 5G-Technik (d. h. mit 2G und/oder 4G) auskommen.

Im Zuge der Auswahl des für die Feldverteilungssimulationen zu verwendenden Softwarepaketes stellten sich die Pakete Wireless Insite (Remcom) und WinProp/FEKO (Altair) als grundsätzlich gut geeignet heraus, wobei im Hinblick auf den Import von digitalen Karten WinProp/FEKO deutliche Vorteile zeigt. Die Wahl fiel daher schließlich auf WinProp/FEKO.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die unmittelbar nächsten Schritte sind die Auswahl und Einladung der Expert*innen sowie die Finalisierung des Online-Fragebogens für die erste Runde der Delphi-Befragung. Nach deren Auswertung wird die zweite Befragungsrunde innerhalb von zwei Monaten geplant, diese ausgewertet und als Grundlage für die Vorhersage der Modellszenarien herangezogen. Parallel zur Delphi-Befragung erfolgt der Erwerb der Softwarelizenz für die Feldausbreitungssimulationen, sodass unmittelbar nach finaler Auswertung der Delphi-Befragung mit der Szenarienmodellierung und der Entwicklung der Methode für die Expositionssimulationen begonnen werden kann. Daran anschließend erfolgen die Feldausbreitungssimulationen und die Expositionsberechnungen.

Thema

Beteiligung an einer Folgestudie zur Verifikation oder Falsifikation der Ergebnisse der NTP-Langzeitstudie an Mäusen und Ratten zur Ganzkörperexposition mit Mobilfunkfeldern

Subject

Participation in a follow-up study for verification or falsification of the results of the NTP-longterm study concerning whole body exposure of mice and rats in mobile communications radio frequency fields

Kennzeichen
3620S82474

Beginn
01.12.2020

Ende
30.11.2022

Fördermittel
EUR 249.400,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Seibersdorf Labor GmbH, Seibersdorf, Österreich

Projektleitung
G. Schmid

Fachbetreuung BfS
Dr. J. Kuhne / KEMF

verantwortlich für den Text
G. Schmid

1. ZIELSETZUNG

Vorliegende Ergebnisse wissenschaftlicher Tierstudien mit Ratten und Mäusen berichten teilweise von erhöhter Tumorzinzidenz bzw. Tumorpromotion durch Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF). Die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf den Menschen ist jedoch schwierig, unter anderem deshalb, weil unter ähnlichen Befeldungsbedingungen die Absorptionsverteilung im Körper der Tiere deutlich unterschiedlich zu jener im menschlichen Körper ist und bei gleicher spezifischer Ganzkörperabsorptionsrate von deutlich unterschiedlichen Auswirkungen auf Metabolismus und Thermoregulation bei den Tieren und Menschen ausgegangen werden muss. Die durch die HF-Absorption den Tieren zugeführte Wärmeenergie könnte somit als Mediator im Rahmen von Studien hinsichtlich möglicher nicht-thermischer Wirkungen von HF-EMF wirken.

Ziel des Vorhabens ist daher die Überprüfung der Machbarkeit einer Realisierung thermischer Kontrollgruppen durch Oberflächenabsorption von Millimeterwellen für Tierstudien mit Ratten und Mäusen in denen die thermische Last der HF-Exposition im gegenwärtigen Mobilfunk-Frequenzbereich (< 6 GHz) nachgebildet wird, ohne jedoch gleichzeitig zu einer relevanten Absorption von HF-EMF in den inneren (Ziel-) Organen der Tiere zu führen. Auf diese Weise könnte es möglich sein, in zukünftigen Studien zwischen einem direkten Feldeffekt im Zielorgan und thermisch vermitteltem Wirkprinzip zu unterscheiden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die oben genannte Zielsetzung wird in die folgenden Einzelzielsetzungen gegliedert:

2.1 AUFARBEITEN DES RELEVANTEN WISSENSCHAFTLICHEN KENNTNISSTANDES

Aus publizierten experimentellen Studien mit Ratten und Mäusen zur Frage gesundheitlicher Auswirkungen von HF-EMF werden dosimetrisch relevante Daten (Expositionsprotokolle, Absorptionsverteilung, Körpertemperaturdaten, Details der Expositionsanlagen, Anzahl der Tiere pro Käfig und Positionen der Tiere während der Exposition, Gewebe- und Materialeigenschaften von Käfig, Einstreu, Futter etc.) erhoben und zusammengefasst. Weiter erfolgen Recherchen bezüglich verfügbarer experimenteller und numerischer dosimetrischer Methoden sowie der technischen Details der eingesetzten Expositionsanlagen.

Zusätzlich werden in der aktuellen wissenschaftlichen Literatur Recherchen bezüglich verfügbarer anatomischer numerischer Körpermodelle von Mäusen und Ratten in unterschiedlichen Entwicklungsstadien und damit ermittelter HF-Absorption und Gewebetemperaturerhöhungen hinsichtlich der dielek-

trischen und thermischen Eigenschaften der Körpergewebe und anderer relevanter Materialien (Futter, Streu, Käfig etc.) sowie im Hinblick auf Thermoregulation von Ratten und Mäusen durchgeführt.

2.2 IDENTIFIKATION GEEIGNETER HF-EMF-PARAMETER FÜR THERMISCHE KONTROLLEXPERIMENTE

Auf Basis der in den vorangegangenen Recherchen gewonnenen Erkenntnisse werden zunächst geeignete anatomische numerische Körpermodelle von Ratten und Mäusen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien ausgewählt und beschafft sowie deren passive thermische Gewebeeigenschaften auf Basis einer experimentellen Validierung optimiert.

Mit den validierten bzw. optimierten Ratten- bzw. Mäusemodellen unterschiedlicher Entwicklungsstadien erfolgen systematische numerische Berechnungen der Absorptions- und Temperaturverteilungen im Frequenzbereich 450 MHz - 40 GHz, um die grundsätzliche Möglichkeit für thermische Kontrollgruppen beurteilen zu können, wobei die Beurteilung der Machbarkeit anhand der folgenden Merkmale erfolgen soll:

- möglichst genaue Nachbildung der Temperaturverläufe (über die Zeit) und der Temperaturverteilung in den Tieren, wie sie durch die HF-EMF Absorption in den relevanten Studien zur Frage der Kanzerogenität aufgetreten ist
- minimale HF-EMF Absorption in den relevanten Zielorganen
- minimale Begleiterscheinungen wie z.B. Erwärmung der Körperoberfläche

Aus den durchgeführten Berechnungen werden möglichst optimale Expositionsparameter für Temperaturkontrollgruppen von SD-Ratten und B6C3F1-Mäusen inklusive derer als noch vertretbar anzusehenden Bereichsgrenzen ermittelt.

2.3 ÜBERPRÜFUNG DER EIGNUNG BESTEHENDER EXPOSITIONSEINRICHTUNGEN UND ERMITTLUNG NOTWENDIGER ANPASSUNGEN ZUR REALISIERUNG VON THERMISCHEN KONTROLLEXPERIMENTEN

Auf Basis der in den vorangegangenen Arbeitsschritten erhobenen Daten über Expositionsanlagen und der erarbeiteten optimierten Expositionsparameter für Temperaturkontrollgruppen wird untersucht, inwieweit die bestehenden Expositionsanlagen der oben genannten Studien für die Hinzunahme einer solchen Temperaturkontrollgruppe geeignet sind.

Für die als tauglich eingestufte(n) Expositionsanlage(n) werden auf Basis von numerischen Berechnungen optimierte Expositionsparameter für die thermische Kontrollgruppe erarbeitet und die resultierenden Unsicherheiten in der Exposition der thermischen Kontrollgruppen quantifiziert.

2.4 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE UND IDENTIFIKATION MÖGLICHER ODER ZU ERWARTENDER PROBLEME

Alle erarbeiteten Ergebnisse des Vorhabens werden kritisch diskutiert und gemeinsam mit identifizierten offenen Fragen dokumentiert, und es werden aus der Gesamtschau aller vorliegenden Erkenntnisse und Ergebnisse Empfehlungen für experimentelle Tierstudien im Hinblick auf mögliche Effekte von HF-EMF abgeleitet.

3. METHODIK

Die Aufarbeitung des relevanten wissenschaftlichen Kenntnisstandes (Einzelzielsetzung 2.1) erfolgt durch Recherchen in den etablierten wissenschaftlichen Datenbanken und relevanten Berichten einschlägiger Forschungsprojekte.

Im Hinblick auf die Einzelzielsetzung 2.2 erfolgt zunächst die experimentelle Validierung der numerischen Körpermodelle der Mäuse und Ratten durch kontrollierte Expositionen von frischen Ratten- und Mäusekadavern in unterschiedlichen Entwicklungsstadien mittels HF-EMF im Frequenzbereich 450 MHz - 40 GHz bei gleichzeitiger (faseroptischer) Temperaturmessung in unterschiedlichen Organ- bzw. Gewebebereichen und IR-Temperaturmessung für die Oberflächentemperatur.

Die systematischen numerischen Berechnungen (Computersimulationen) zur Abklärung der grundsätzlichen Machbarkeit der Temperaturkontrollen durch HF-Exposition im Zentimeter- bzw. Millimeterwellenbereich werden für alle betrachteten Entwicklungsstadien im Frequenzbereich 10 - 60 GHz durchgeführt, wobei der Einfluss der Einfallrichtung und Polarisierung der EM-Wellen sowie Abschattungseffekte durch andere Tiere analysiert werden.

Ebenso erfolgt die Überprüfung der Eignung bestehender Expositionseinrichtungen (Einzelzielsetzung 2.3) auf Basis von numerischen Berechnungen (Computersimulationen) mit den optimierten und validierten anatomischen Tiermodellen unter Berücksichtigung der konkreten Parameter und den Gegebenheiten der Expositionsanlagen sowie anderer relevanter Gegebenheiten der Praxis (Käfig, Streu, Futter, Wasser, Versteck etc.). Sollte sich zeigen, dass (eine) bestehende Anlage(n) nicht für die Realisierung von Temperaturkontrollgruppen der oben erwähnten Art geeignet ist (sind), werden für die Zielerreichung notwendige (im Rahmen einer praktikablen Umsetzung liegende) Modifikationen dieser Anlagen ermittelt und dokumentiert. Sind für die betrachteten Expositionsanlagen keine praktikablen Modifikationen für die Erreichung des Ziels ableitbar, werden entsprechende Parametervorgaben für eine neue Expositionsanlage erarbeitet, mit der eine Durchführung der Studien mit einer Temperaturkontrolle möglich ist.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Recherche zur Aufarbeitung des relevanten wissenschaftlichen Kenntnisstandes ist inhaltlich abgeschlossen, der zugehörige Zwischenbericht ist in Arbeit. Parallel dazu wurden mehrere verfügbare numerische Modelle von Ratten und Mäusen getestet und, darauf basierend, eine Auswahl für die im Vorhaben weiter verwendeten Tiere getroffen. Vorbereitungsarbeiten für die experimentellen Validierungen der Tiermodelle laufen gegenwärtig.

5. ERGEBNISSE

Auf Basis der im Zuge der Literaturrecherche erhobenen Daten erhärtet sich der Verdacht, dass die in der NTP-Studie applizierten Expositionswerte möglicherweise zu höheren Körperkerntemperaturen führten als von den Autoren angenommen. Neben den diesbezüglich bereits publizierten Verdachtsmomenten könnte auch die subkutan-interescapulare Platzierung des Körpertempersensors zu einer systematischen Unterschätzung der durch die HF-Exposition hervorgerufene Körperkerntemperatur geführt haben.

Diese Hypothese muss im Zuge der weiteren Arbeiten jedoch noch einer detaillierten Prüfung unterzogen werden. Alle weiteren zu recherchierenden Daten wurden, sofern auffindbar, erhoben und werden gegenwärtig in Form des 1. Zwischenberichts zum Vorhaben zusammengefasst. Valide Materialparameterdaten zu Einstreu und Futter konnten nicht gefunden werden.

Mit den ausgewählten Tiermodellen wurden erste numerische Berechnungen im Frequenzbereich 450 MHz - 3600 MHz mit unterschiedlicher Einfallrichtung und Polarisation durchgeführt. Die dabei ermittelten SAR-Sensitivitätsfaktoren (in W/kg pro (V/m)²) zeigen gute Übereinstimmung mit den in der Literatur berichteten Werten.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die unmittelbar nächsten Schritte sind die Erstellung der thermischen Simulationsmodelle und deren messtechnische Validierung bzw. Optimierung. Unmittelbar daran anschließend erfolgen die systematischen numerische Berechnungen der Absorptions- und Temperaturverteilungen im Frequenzbereich 450 MHz - 40 GHz zur Bewertung der grundsätzlichen Möglichkeiten für thermische Kontrollgruppen. Basierend auf den daraus gewonnenen Erkenntnissen wird die Eignung bestehender Expositionseinrichtungen überprüft bzw. werden notwendige Anpassungen zur Realisierung von thermischen Kontrollexperimenten vorgeschlagen. Die Zusammenfassung der Ergebnisse und Identifikation möglicher oder zu erwartender Probleme bilden den Abschluss des Vorhabens.

Thema

Systematischer Review zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf die Fruchtbarkeit bei Menschen sowie in Tier- und Laborstudien

Subject

Systematic review on the influence of electric, magnetic and electromagnetic fields on adverse fertility outcomes in humans as well as in animal and laboratory studies

Kennzeichen

3620S82475

Beginn

01.05.2020

Ende

31.10.2021

Fördermittel

EUR 88.068,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München

Projektleitung

D. Sachno

Fachbetreuung BfS

B. Henschenmacher / KEMF

verantwortlich für den Text

D. Sachno

1. ZIELSETZUNG

Zahlreiche Studien, die im Verlauf der letzten Jahrzehnte publiziert wurden, weisen auf einen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber niedrig- und hochfrequenten elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern und einer möglichen Beeinträchtigung der menschlichen Fruchtbarkeit hin. Dabei wurde speziell eine Verringerung der Anzahl an Spermien, deren Mobilität und das Auftreten von Schädigungen in der DNA bei für die Funktion von Spermatozoen wichtigen Proteinen sowie ein erhöhtes Auftreten reaktiver Sauerstoffspezies im Gewebe der Keimdrüsen und innerhalb der Keimzellen selbst beschrieben.

Insgesamt ist die Datenlage zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf die humane Reproduktionsfähigkeit überwiegend inkonsistent. Zum einen unterscheiden sich die Studien teilweise deutlich im Versuchsaufbau und den Expositionsbedingungen - es gibt Unterschiede im verwendeten Zelltyp, der Intensität der Felder oder der Expositionsdauer. 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 die Reproduktionsfähigkeit des Menschen 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 soll ein Review-Protokoll erstellt werden, 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 sollen die Literatursuche, -auswahl und -aufarbeitung der Daten - unter Beachtung der Richtlinien des Centre for Reviews and Dissemination - als systematischer Review erfolgen.

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 (*Population, Exposure, Comparison, 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-Term, Verbindung der Suchbegriffe durch AND/OR etc.). Zusätzlich werden weitere Einschlusskriterien wie Sprache, Erscheinungsdatum, Art der Studie etc. definiert. Die Suchstrategie wird anhand vorab definierter Referenzartikel, die durch die Suche identifiziert werden müssen, validiert.

3.3 SELEKTION UND BEWERTUNG EINZUSCHLIEßENDER STUDIEN

Alle relevanten Artikel, identifiziert nach der zuvor festgelegten Forschungsfrage und den Suchbegriffen, werden bei Erfüllung der Einschlusskriterien in die Studie aufgenommen. Die interne Validität und die Qualität der eingeschlossenen Studien werden 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“ dedupliziert, in die Literaturmanagement-Software „DistillerSR“ überführt 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 die 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 werden mit dem "Risk of Bias"-Tool des vom "Office of Health Assessment and Translation" veröffentlichten Protokolls 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 Verzerrungsrisiko
- "--" definitiv hohes Verzerrungsrisiko.

5. ERGEBNISSE

Das Review-Protokoll wurde erfolgreich finalisiert. Nach der im Review-Protokoll definierten Suchstrategie wurden die Datenbanken PubMed, Scopus und Web of Science durchsucht. 74 von 74 Referenzartikel konnten in allen Datenbanken identifiziert werden. Die folgenden Trefferzahlen wurden erzielt: 6 633 Artikel in PubMed, 15 190 Artikel in Scopus, 6 860 Artikel in Web of Science und 2 811 Artikel im EMF-Portal.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Suchstrategie wird optimiert, sodass speziell in Scopus weniger irrelevante Artikel identifiziert werden. Weiterhin werden das Screening und Datenextraktionsprotokoll in „DistillerSR“ etabliert und eine Pilotstudie mit 100 zufällig ausgewählten Artikeln durchgeführt.

Das finale Review-Protokoll wird zeitnah bei PROSPERO eingereicht.

Es folgt die Selektion der einzuschließenden Studien nach Punkt 4.1. Referenzlisten relevanter Artikel werden nach weiteren, bisher nicht berücksichtigten, Artikeln durchsucht. Daten werden nach 4.2 extrahiert und nach 4.3 bewertet. Anschließend werden die Ergebnisse in Form eines systematischen Review 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.

3.9 Themenbereich 09

Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm / Stromnetzausbau

3.9 Subject area 09

German Mobile Telecommunication Research Programme / national grid expansion

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 and magnetic fields

Kennzeichen

3619S92411

Beginn

01.04.2020

Ende

31.03.2022

Fördermittel

EUR 591.797,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Donau-Universität Krems (Universität für Weiterbildung Krems, UWK-DUK), Department für Integrierte Sensor-Systeme (DISS), Wr. Neustadt, Österreich

Projektleitung

Dr. W. Hortschitz

Fachbetreuung BfS

Dr. J. Kuhne / KEMF

verantwortlich für den Text

Dr. W. Hortschitz, Prof. Keplinger

1. ZIELSETZUNG

Das BfS hat die Aufgabe, die von geplanten Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen (HGÜ) ausgehenden gesundheitlichen Risiken zu ermitteln. Dazu müssen unter anderem die vorherrschenden statischen und niederfrequenten elektrischen und magnetischen Felder gemessen werden. Herkömmliche Messmethoden erweisen sich hierbei als unzuverlässig oder problematisch. Ein Grund liegt unter anderem im Einfluss von z. B. Luftpflanzen, die zu Aufladungen und damit zu einer Beeinflussung des elektrischen Feldes führen können. Dieses Forschungsvorhaben verfolgt das Ziel, neuartige Messmethoden zu evaluieren und ein Messsystem für die notwendigen Messaufgaben aufzubauen, zu erproben und zu validieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

Es soll ein neuartiges Messsystem, das sich zur Erfassung statischer und niederfrequenter elektrischer und ggf. Magnetfelder im Einwirkungsbereich von HGÜ und HGÜ/HWÜ-Trassen eignet, aufgebaut und charakterisiert werden.

Basierend auf den Ergebnissen einer zu Beginn durchgeführten umfassenden Recherche soll ein Konzept des Messsystems entwickelt werden. Danach sollen die Komponenten des Messsystems entworfen, hergestellt, kombiniert und getestet werden.

Im Folgenden sind die Unterziele für die Hauptkomponenten des Messsystems aufgelistet:

2.1 WANDLER

Der Wandler, der die Messgröße elektrische Feldstärke in eine mechanische Auslenkung umwandelt, wird so entworfen, dass der Messeffekt maximiert und etwaige Störeinflüsse minimiert werden. Dazu wird der Designschritt von computer-numerischen Simulationen begleitet. Auf Basis der so erstellten Masken für die Lithographie werden die Wandlerchips mit Prozessen der Mikrosystemtechnologie gefertigt.

2.2 AUSLESEVERFAHREN

Das geeignetste Ausleseverfahren soll an die geometrischen Gegebenheiten des Wandlerchips angepasst werden und die geeigneten Komponenten und Geräte gefunden werden.

2.3 ELEKTRONIK

Hier sind die Entwicklung und Fertigung der erforderlichen Auswerteelektronik und Anregeelektronik notwendig.

2.4 GEHÄUSE

Angepasst an die Bedingungen, welche im Wirkungsbereich der HGÜ bzw. HGÜ/HWÜ-Trassen auftreten, ist ein Gehäuse für das Sensorsystem zu entwerfen und zu fertigen.

2.5 MAGNETFELDMESSUNG

Basierend auf den Erkenntnissen von Recherche soll ggf. ein Magnetfeldsensor zugekauft und mit dem System in geeigneter Weise kombiniert werden. Dabei soll das Hauptaugenmerk auf dem ungestörten Betrieb des E-Feld-Sensors liegen.

3. METHODIK

Basierend auf den erstellten Anforderungen aus der Recherche werden Herstellverfahren für die einzelnen Subsysteme definiert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 WANDLER

Die multiphysikalische Optimierung des Wandlers wird mit computer-numerischen Werkzeugen durchgeführt. Die Chips werden im Reinraum mit den Methoden der Halbleitertechnologie gefertigt. Zuvor werden mit den Ergebnissen aus Simulationen die Masken für die Lithographie für die Fertigung erstellt. Die gefertigten Chips werden anschließend einzeln charakterisiert.

4.2 AUSLESEVERFAHREN

Das geeignetste Ausleseverfahren wird durch Vergleich der aktuell verfügbaren Messmethoden für geringe mechanische Auslenkungen gefunden.

4.3 ELEKTRONIK

- Anwendung der Standardmethoden zum Entwurf von Elektronik
- Aufbau von Prüfeinrichtungen zum Testen der Einzelkomponenten

4.4 GEHÄUSE

- CAD-Entwurf des Gehäuses für alle mechanischen (Chiphalterung, Elektroden, ...) und elektrischen Subkomponenten (Mikrocomputerboards, Mikrocontroller, Stromversorgungen, Akkusystem, ...)
- Erstellung der normgerechten Konstruktionszeichnungen
- Fertigung der einzelnen Komponenten mit typischen Methoden mechanischer Werkstätten

4.5 MAGNETFELDMESSUNG

- Auswahl und Kauf eines Sensors nach Erstellen des Anforderungskataloges (Sensitivität, Dynamik und Frequenzbereich, ...)
- Aufbau einer Testumgebung und Erstellung der Auslesesoftware

5. ERGEBNISSE

Das Messsystem wurde schlussendlich assembliert und im Hochspannungslabor der TU Graz getestet. Dabei wurde das Messsystem auf einem Stativ montiert und unter einem Leiterseilbündel positioniert. Ionenkonzentrationen im Einwirkungsbereich des Leiterseilbündels wurden zeitgleich mit einem Ionometer aufgezeichnet. Beide Systeme werden über Akkus mit Energie versorgt und können über WLAN-Verbindungen gesteuert werden. Das Messsystem wurde schlussendlich unter Gleich- und Wechselspannungen getestet. Die Wechselspannungen mit 50 Hz an den Leiterseilen reichten dabei bis zu 300 kV, was Feldstärken bis zu 60 kV/m entspricht. Hinsichtlich der Gleichspannungen wurden Messungen bei -50 kV bis +50 kV durchgeführt, wobei die Spannung in 10 kV-Schritten geändert wurde.

Danach wurde das Messsystem im Hybridbetrieb, d. h. sowohl mit Gleich- als auch mit Wechselspannungen, an den Leiterseilen getestet. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf den etwaigen Auswirkungen eines AC-Feldes auf die Messung des DC-Feldes. Es zeigte sich, dass das Messsystem unter Drifffeffekten leidet, die die Stabilität des Systems und damit die Aussagekraft der Messergebnisse beeinträchtigen. Nach den Messungen in Graz wurden Anpassungen am Messsystem vorgenommen, um bei Seibersdorf Labor GmbH Messreihen bei elektrischen Gleichfeldern von -20 kV/m bis +20 kV/m bzw. Wechselfeldern von 0 bis 10 kV/m bei 50 Hz für eine Kalibration durchzuführen. Aus den Ergebnissen wurden Verbesserungsmöglichkeiten hinsichtlich der Stabilität identifiziert, welche in Absprache mit Hrn. Kuhne umgesetzt werden sollen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Es sind mehrere Umbauten am Messsystem konzeptioniert worden, um die Stabilität zu verbessern. Neben einer Vereinfachung des Pfades der optischen Auslesung wird die Verbindung zw. Chip und Optik so rigide wie möglich hergestellt werden. Auch an der Elektronik wurden Verbesserungen hinsichtlich einer Regelung identifiziert, welche umgesetzt werden sollen.

Schlussendlich soll das adaptierte System nach Charakterisierung der Einzelkomponenten in Labors der Projektpartner TU Wien und UWK-DUK erneut im Einwirkungsbereich von Hochspannungsanlagen getestet werden.

Thema			
Untersuchung zum Auftreten von Leukämie bei prädisponierten, Magnetfeld-exponierten Tiermodellen			
Subject			
<i>Investigation of leukemia development in predisposed animal models exposed to magnetic fields</i>			
Kennzeichen 3620S92410	Beginn 01.08.2020	Ende 30.07.2023	Fördermittel EUR 1.398.534,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München			
Projektleitung Dr. A. Bitsch	Fachbetreuung BfS Dr. J. Schmidt / KEMF	verantwortlich für den Text Dr. A. Bitsch, D. Sachno	

1. ZIELSETZUNG

Epidemiologische Untersuchungen zeigten einen statistischen Zusammenhang zwischen der Exposition mit extrem niederfrequenten Magnetfeldern (*extremely low frequency magnetic fields*, ELF-MF) und der Entstehung von Leukämien im Kindesalter auf. Daher wurden ELF-MF, wie sie bei der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Verwendung von elektrischer Energie (Strom) entstehen, als „möglicherweise krebserregend für den Menschen“ eingestuft. Der Zusammenhang zwischen einer länger andauernden MF-Exposition $>0,3 \mu\text{T}$ und einer leicht, aber signifikant erhöhten Inzidenz an Kinderleukämie, insbesondere der akuten lymphatischen Leukämie, stützt sich auf übereinstimmende Ergebnisse aus mehr als 20 epidemiologischen Studien. Daten aus Tier- und Zellversuchen zum (co-) karzinogenen Potential von ELF-MF im Mikrotresla-Bereich sind hingegen widersprüchlich bzw. unvollständig und untermauern diese epidemiologischen Beobachtungen nur sehr schwach.

Das EU-Projekt ARIMMORA (*Advanced Research on Interaction Mechanisms of electroMagnetic exposures with Organisms for Risk Assessment*), an dem auch das Fraunhofer ITEM beteiligt war, hatte zum Ziel, einen möglichen kausalen Zusammenhang zwischen Leukämie im Kindesalter und der ELF-MF-Exposition zu klären. Es wurden umfangreiche experimentelle Arbeiten durchgeführt, um Mechanismen auf zellulärer und subzellulärer Ebene aufzudecken. Die Befunde in den transgenen *Sca1-ETV6-RUNX1*-Mäusen stammen von Tieren eines Pilotversuchs zur möglichen co-karzinogenen Wirkung von ELF-MF im ARIMMORA-Projekt. In einem Pilotversuch wurden *Sca1-ETV6-RUNX1*-Mäuse *in utero* und nach Geburt bis 90 Tage *post partum* (p. p.), 7 Tage/Woche und 20 Stunden/Tag diskontinuierlich (10'/5' an/aus-Zyklen) gegenüber 50 Hz ELF-MF bei einer magnetischen Flussdichte von 1,5 mT exponiert und anschließend bis zum Alter von 2 Jahren nachbeobachtet. Von 30 Tieren entwickelte eine *Sca1-ETV6-RUNX1*-Maus mit 14 Monaten eine pB-ALL (precursor-B acute lymphoblastic leukemia), aber keine der insgesamt 65 nicht-exponierten Mäuse. Auf Grund der kleinen Gruppengröße war das Ergebnis nicht signifikant, spiegelte aber die Leukämie-Inzidenz bei Kindern gut wieder. Die Ergebnisse aus dem ARIMMORA-Projekt sollen anhand der vorliegenden Studie überprüft werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

In einem ersten Arbeitsschritt sollen alle bekannten Informationen zur Leukämieentwicklung nach der Exposition gegenüber ELF-MF in einer Sachstandserfassung zusammengestellt werden.

2.2 KONZEPTION UND AUFBAU DER EXPOSITIONSANLAGEN

Für die EMF-Exposition der Mäuse sollen Expositionsanlagen konstruiert werden, die jeweils eine dauerhafte 50 Hz ELF-MF-Exposition einer Gruppe von 204 frei beweglichen Mäusen gewährleisten.

2.3 EXPOSITIONSSZENARIO UND VERLAUFSKONTROLLE

204 *Sca1-ETV6-RUNX1*-Mäuse je Gruppe sollen, beginnend *in utero*, gegenüber ELF-MF einer Frequenz von 50 Hz und einer magnetischen Flussdicht von 1,5 mT bzw. 0 mT bis zu einem Alter von 3 Monaten exponiert werden. Im Anschluss an die Exposition sollen alle Tiere bis zu einem Alter von 24 Monaten, mit Hinblick auf eine Leukämieentwicklung, diagnostisch begleitet werden. Im Alter von 24 Monaten sollen zusätzlich detaillierte Untersuchungen zu einer möglichen karzinogenen Wirkung von ELF-MF in relevanten hämatopoetischen Organen durchgeführt werden.

3. METHODIK

3.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Publizierte Artikel zu einer möglichen krebserregenden Wirkung von ELF-MF, mit besonderem Fokus auf die Entstehung von Leukämie *in vivo*, werden durch eine Suche in der thematisch spezialisierten Literaturdatenbank EMF-Portal identifiziert und mit einer Suche in PubMed, Scopus und Web of Science abgeglichen. Zusätzlich werden alle aktuellen Berichte zu Beratungen bezüglich der vorliegenden Fragestellung in einschlägigen nationalen und internationalen Gremien einbezogen. Alle identifizierten Artikel werden durch ein sorgfältiges Screening-Verfahren auf ihre Relevanz geprüft, bei vorliegender Eignung in die Literaturzusammenfassung eingeschlossen und entsprechend der Fragestellung ausgewertet.

3.2 VERSUCHSDESIGN

Zwei Gruppen von je 68 trächtigen Muttertieren (ausgehend von 3 transgenen Tieren pro Wurf sind dies später insgesamt 204 Tiere pro Gruppe) werden nach Feststellung der Trächtigkeit in zwei äußerlich nicht unterscheidbaren Anlagen gegenüber 50 Hz ELF-MF mit einer magnetischen Flussdichte von jeweils 0 mT (Scheinexposition) und 1,5 mT exponiert. Damit wird der Nachwuchs bereits *in utero* exponiert. Die Exposition der Mäuse erfolgt nach Geburt weiter bis zu einem Alter von 3 Monaten. Die Exposition ist mit 20 Stunden pro Tag und einer Pause von 4 Stunden an 7 Tagen pro Woche vorgesehen. Im Anschluss an die Exposition werden die Mäuse bis zu einem Alter von 2 Jahren auf eine Leukämieentwicklung hin beobachtet. Hierzu verbleiben die Mäuse im selben Tierraum. Die Verblindung der Expositionsgruppen wird weiter aufrecht erhalten.

3.3 VERLAUFSKONTROLLE

Zur Kontrolle einer möglichen Leukämie-Entwicklung wird den Mäusen an neun vordefinierten Zeitpunkten Blut abgenommen (3, 6, 12, 15, 18, 20, 22, 23, 24 Monate p. p.). Zu jedem der genannten Zeitpunkte wird je Tier eine Immunphänotypisierung mittels Durchflusszytometrie durchgeführt. Parallel wird der Gesundheitszustand der Tiere regelmäßig überwacht; einmal pro Woche werden das Körpergewicht gemessen und klinische Symptome erfasst.

3.4 FINALE UNTERSUCHUNG

Das finale Untersuchungsspektrum der Tiere umfasst Tests zum Immunstatus und zur Funktionalität der in der Kanzerogenese relevanten Immunzellen wie auch eine begleitende (Histo-) Pathologie. Im Fokus stehen hier die histologischen Untersuchungen präneoplastischer und neoplastischer Veränderungen im hämatopoetischen System zur Erfassung einer möglichen kanzerogenen Wirkung.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

In einem ersten Arbeitsschritt wurden alle bekannten Informationen zur Leukämieentwicklung nach der Exposition gegenüber ELF-MF in einer Sachstandserfassung zusammengestellt. Im Einzelnen wurde auf bereits durchgeführte Arbeiten des Fraunhofer ITEM, des IBMCC Universität Salamanca sowie des ITIS eingegangen, wobei die Methodik, Vorgehensweise, Daten und Ergebnisse dieser Arbeiten detail-

liert betrachtet wurden. Zusätzlich wurden Untersuchungen und Ergebnisse laufender sowie abgeschlossener Studien, z. B. BfS Forschungsvorhaben, aufgearbeitet und im aktuellen Kontext detailliert betrachtet.

Dieser Arbeitsschritt ist abgeschlossen und der Bericht zu AP 1 wurde eingereicht.

4.2 DESIGN UND AUFBAU DER EXPOSITIONSANLAGEN

Die Konzeption und der Aufbau der Expositionsanlagen wurden von der IT'IS Foundation durchgeführt. Es wurden Anlagen konzipiert, die eine dauerhafte Exposition von jeweils einer Gruppe von 204 frei beweglichen Mäusen gewährleisten.

Die Expositionsanlagen ermöglichen eine vollständig verblindete Exposition (diskontinuierlich - 10 min an/5 min aus) der Versuchstiere gegenüber einem homogenen Magnetfeld einer Frequenz von 50 Hz mit Oberschwingungen und einer magnetischen Flussdichte von 1,5 mT bzw. 0 mT (Scheinexposition).

Mitte des Jahres 2021 wurden die Anlagen an das ITEM gesendet und vor Ort in den entsprechenden Tierräumen installiert. Nach erfolgreichem Testlauf wurden die Anlagen für das Experiment freigegeben.

4.3 AUFBAU EINER MÄUSEZUCHT

Eine primäre Zuchtkolonie von transgenen Zuchtmäusen wurde am IBMCC Universität Salamanca expandiert. Bei Erstellung des Gesundheitszertifikates wurden die Mäuse positiv auf den intestinalen Parasiten *Entamoeba muris* getestet, was die direkte Aufnahme der Mäuse in den SPF (spezifisch pathogenfreien) Bereich des ITEMs ausschloss. Für eine Sanierung des Mausstamms wurden die transgenen Mäuse nun in einem Zwischenschritt an Charles River übergeben. Nach erfolgter Sanierung werden die Mäuse in das ITEM-Tierhaus überführt und auf die benötigte Tierzahl expandiert.

Die ersten trächtigen Tiere befinden sich bereits in der Expositionsphase der Studie.

5. ERGEBNISSE

Im Verlauf der Literatursuche wurden 3 728 potentiell relevante Artikel identifiziert, von denen 29 in die Literaturzusammenfassung eingeschlossen wurden. Als zusätzliche Quellen wurden aktuelle Berichte der folgenden nationalen und internationalen Gremien verwendet: IARC, ICNIRP, SCENIHR, EFHRAN, SSM, FPTRPC und dem "Interagency Committee on the Health Effects of Non-ionising Fields (New Zealand)". Eine Auswertung der eingeschlossenen Literatur wurde in Form eines ersten Arbeitspaket-Berichtes eingereicht.

Ergebnisse des tierexperimentellen Teils des Vorhabens liegen noch nicht vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

- Verpaarung weiterer transgener F1-Weibchen
- Exposition trächtiger F1-Muttertiere
- Erstellung Zwischenbericht zu AP 2
- Beginn der Leukämie-Verlaufskontrolle

Thema

Machbarkeitsstudie für eine interdisziplinäre Studie zur Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen Umwelt-, genetischen Faktoren und Leukämie in B-Zell ALL-Patienten

Subject

Feasibility study for an interdisciplinary study on the association between environmental as well as genetic risk factors and risk of childhood B-cell acute lymphoblastic leukaemia in Germany

Kennzeichen
3620S92412

Beginn
01.02.2021

Ende
30.05.2022

Fördermittel
EUR 143.473,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz; Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI), Mainz, Deutschland
International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, Frankreich

Projektleitung
PD Dr. D. Wollschläger,
Dr. F. Erdmann

Fachbetreuung BfS
Dr. J. Schmidt / KEMF

verantwortlich für den Text
PD Dr. D. Wollschläger,
Dr. F. Erdmann

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Vorhabens besteht darin, die Durchführbarkeit einer interdisziplinären Studie über umweltbedingte und genetische Faktoren für die Entstehung der B-Zell akuten lymphatischen Leukämie (ALL) im Kindesalter zu prüfen. Im Rahmen einer solchen interdisziplinären Studie soll untersucht werden, ob Patienten mit verschiedenen genetischen Subtypen der pädiatrischen B-Zell-ALL vor Ausbruch der Krankheit unterschiedlichen Umweltrisikofaktoren ausgesetzt waren. Im Fokus stehen dabei extrem niederfrequente Magnetfelder (ELF-MF) und ionisierende Strahlung.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ARBEITSPAKET 1: AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Ziele von Arbeitspaket 1 (AP 1) beinhalteten die Identifizierung und Auflistung der umweltbedingten Risikofaktoren für Leukämie im Kindesalter mit Bewertung ihrer Relevanz, eine Identifizierung und Auflistung der genetischen Risikofaktoren für Leukämie im Kindesalter mit Bewertung ihrer Relevanz sowie die Identifizierung von laufenden und neu beginnenden oder geplanten klinischen ALL-Studien in Deutschland.

2.2 ARBEITSPAKET 2: KLÄRUNG DER MÖGLICHKEIT ZUR EINBINDUNG DER STUDIE IN EINE KLINISCHE STUDIE SOWIE KLÄRUNG DER DATENSCHUTZRECHTLICHEN UND ETHISCHEN FRAGEN

Das Ziel von AP 2 war es, den Kontakt zu laufenden klinischen Studien zur pädiatrischen ALL in Deutschland herzustellen und Informationen zur Teilnehmerzahl sowie zu erhobenen Daten zu erhalten. Die jeweiligen Studienzentren und ihre Vertreter sollten über eine mögliche zukünftige Pilotstudie zu genetischen und umweltbedingten Risikofaktoren für die kindliche B-Zell-ALL informiert werden, um ihre Bereitschaft zur Teilnahme an einer solchen Studie zu evaluieren. Dazu war die Klärung datenschutzrechtlicher und ethischer Aspekte notwendig. Anhand der Angaben zur möglichen Fallzahl für eine Pilotstudie war die statistische Aussagekraft zu bewerten.

3. METHODIK

3.1 ARBEITSPAKET 1

Zur Aufarbeitung des Standes der Wissenschaft wurde die Methode des Umbrella-Reviews angewendet, da bereits mehrere systematische Reviews und Metaanalysen veröffentlicht wurden. Bei den in Frage kommenden Studien musste es sich um relevante Metaanalysen oder systematische Übersichten von Beobachtungsstudien (Kohorten- und Fall-Kontroll-Studien) oder gepoolten Studien handeln. Sie wurden aufgenommen, wenn sie relative Risiken für umweltbedingte oder genetische Risikofaktoren für ALL bei Kindern zusammenfassten. Die methodische Qualität der Studien wurde mit dem AMSTAR 2-Tool bewertet. Zur Auswertung von Angaben zur Prävalenz von Risikofaktoren wurden Studien aus Deutschland berücksichtigt.

3.2 ARBEITSPAKET 2

Informationen zu ALL-Studien wurden in informellen Interviews mit Vertretern der Studienzentrale erfragt und durch einen strukturierten Fragebogen ergänzt. Weitere Aspekte einer zukünftigen Pilotstudie wurden in einem Workshop erarbeitet. Datenschutzvotum und Ethikvotum wurden auf Basis eines vorläufigen Datenschutzkonzepts und Studienprotokolls eingeholt. Bestimmungen der Fallzahl wurden für die Präzision der Prävalenzschätzung einzelner Risikofaktoren wie auch für die Teststärke bei der Analyse einer differentiellen Exposition gegenüber Umweltrisikofaktoren bei genetischen Subtypen der B-Zell ALL durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ARBEITSPAKET 1

Als Literaturdatenbanken wurden Pubmed und Web of Science auf Basis eines vordefinierten Suchterms durchsucht und Duplikate eliminiert. Aus den ausgewählten Veröffentlichungen wurden zentrale bibliographische Angaben und die ermittelten Risikoschätzer mit Konfidenzintervallen extrahiert.

4.2 ARBEITSPAKET 2

Hinsichtlich der Zuständigkeit wurde ermittelt, dass Voten zu Datenschutz und Ethik von den für die Auftragnehmer zuständigen Stellen einzuholen sind. Daher wurden der Landesbeauftragte für den Datenschutz Rheinland-Pfalz sowie die Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz angefragt. Ein Exposé zur vorgesehenen Pilotstudie wurde dem Begleitforschungsausschuss der ALL-BFM-Studie über dessen Vorsitzenden zur Begutachtung vorgelegt. Präzision und erforderliche Fallzahl wurden auf Basis verschiedener Szenarien bzgl. der Teilnahmequote, der tatsächlichen Prävalenz von Risikofaktoren und der Stärke einer differentiellen Exposition durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

5.1 ARBEITSPAKET 1

Umweltrisikofaktoren für das Auftreten von ALL im Kindesalter wurden getrennt nach Expositionszeiträumen (Exposition der Eltern, pränatale vs. postnatale Exposition des Kindes) betrachtet. Nur zwei Risikofaktoren (niedrige Dosis ionisierender Strahlung (< 100 mSv) in der frühen Kindheit und allgemeine Pestizidexposition der Mutter während der Schwangerschaft) waren überzeugend mit ALL im Kindesalter assoziiert. Andere Risikofaktoren, darunter ELF-MF, das Wohnen in der Nähe von kerntechnischen Anlagen, die Exposition gegenüber Erdöl, Benzol, Lösungsmitteln und Haushaltsfarben in der frühen Kindheit, zeigten alle ein gewisses Maß an Evidenz für einen Zusammenhang. Der mütterliche Konsum von Kaffee (hoher Konsum (> 2 Tassen pro Tag)) und Cola (hoher Konsum) während der Schwangerschaft, das väterliche Rauchen während der Schwangerschaft des Indexkindes, die mütterliche Inanspruchnahme von Fruchtbarkeitsbehandlungen, ein hohes Geburtsgewicht (≥ 4000 g) und eine Kaiserschnittentbindung wiesen ebenfalls einen gewissen Grad an Evidenz für einen Zusammenhang auf.

Die mütterliche Folsäure- und Vitaminzufuhr, das Stillen (≥ 6 Monate) und der Besuch einer Kindertagesstätte waren mit einem gewissen Evidenzgrad invers mit ALL im Kindesalter assoziiert. Die berücksichtigte Evidenz aus der Literatur stammt allerdings fast ausschließlich aus fragebogengestützten Fall-Kontroll-Studien, bei denen eine aktive Teilnahme erforderlich war. Sowohl Selektionseffekte als auch Erinnerungsfehler kommen daher als Verzerrungsmöglichkeiten in Betracht. Verbesserte Methoden zur retrospektiven Expositionsabschätzung sind erforderlich, damit in zukünftigen Studien kausal verantwortliche Risikofaktoren für Leukämie im Kindesalter ermittelt werden können, um eine Primärprävention möglich zu machen.

In Deutschland wurden zwei klinische pädiatrische ALL-Studien identifiziert, die B-Zell-ALL-Fälle berücksichtigen. Etwa 85 % der Kinder, die in Deutschland wegen ALL behandelt werden, werden nach dem AIEOP-BFM ALL 2017-Protokoll behandelt, welches vom Universitätsklinikum Schleswig-Holstein (UKSH) Kiel koordiniert wird. Die restlichen 15 % der leukämiekranken Kinder in Deutschland werden im Rahmen der CoALL-08-09-Studie behandelt, die vom Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE) koordiniert wird. Die CoALL-Studie wird zukünftig das internationale ALLTogether-Protokoll anwenden.

5.2 ARBEITSPAKET 2

Relevante Studien in Deutschland sind derzeit die ALL-BFM- und CoALL-Studien, die jährlich ca. 400 (ALL-BFM) bzw. 70 (CoALL) pädiatrische Patienten in Deutschland einschließen. Angaben zu genetischen Subtypen werden in beiden Studien standardmäßig erhoben. Das Studienprotokoll der Pilotstudie sieht vor, dass jegliche Kommunikation mit B-Zell-ALL-Patienten durch die jeweilige Studienzentrale erfolgt. Diese beauftragt ein externes Institut zur Durchführung von Expositionsmessungen von ELF-MF. Die Studienzentren verarbeiten personenidentifizierende bzw. personenbezogene Daten und erstellen einen pseudonymen Auswertedatensatz, der von einer epidemiologischen Forschungseinrichtung analysiert wird. Der Landesbeauftragte für Datenschutz Rheinland-Pfalz gab ein positives Votum zum zugehörigen Datenschutzkonzept. Die Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz gab ein positives Ethikvotum. Das Begleitforschungskomitee der ALL-BFM-Studienzentrale Kiel befürwortete die vorgeschlagene Pilotstudie. Um eine differentielle Exposition bzgl. seltener (2-4 % Prävalenz) Umweltrisikofaktoren mit einem wahren Odds Ratio vs. ca. 2 mit einer Power von 70 % aufzudecken, sind ca. 1 500-3 000 Patienten notwendig.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im April 2022 wird ein internationaler Workshop zur Erfassung niederfrequenter EMF in Mainz durchgeführt, der im Februar aufgrund der COVID-19 Pandemie nicht in Präsenz stattfinden konnte.

In den Arbeitspaketen 3 und 4 wird ein Fragebogen entwickelt und intern pilotiert, der zur retrospektiven Erfassung der Umweltexpositionen dienen soll, die in Arbeitspaket 1 identifiziert wurden. Weiterhin wird das Studienprotokoll der Pilotstudie entwickelt, deren Design in Arbeitspaket 2 festgelegt wurde. Dazu zählt auch eine Fallzahlplanung auf Basis unterschiedlicher Szenarien. Schließlich werden Empfehlungen zur Durchführung der Pilotstudie wie auch einer späteren Hauptstudie erarbeitet.

4. 2021 begonnene Forschungsvorhaben, zu denen noch keine Ergebnisse vorliegen

4. *Research projects initiated in 2020 of which results are not available yet*

THEMENBEREICH 01 / NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Thema

Untersuchung zur Nutzbarkeit von Citizen Science zur Gewinnung von Daten zur Radoninnenraumkonzentration

Subject

Exploring Citizen Science to obtain data on indoor radon concentrations

Kennzeichen
3621S12230

Beginn
01.11.2021

Ende
31.07.2022

Fördermittel
EUR 78.003,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Institut für Zukunftsforschung und Technologiebewertung (IZT)

Projektleitung
C. Kahlisch

Fachbetreuung BfS
Dr. N. Suhr / UR2

verantwortlich für den Text
C. Kahlisch

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Aufgabe des Forschungsvorhabens ist es, den Nutzen sowie ggf. konkrete Vorschläge zur Umsetzung eines Citizen Science-Projekts zu Radon in Deutschland zu erarbeiten. Ziele eines solchen Vorhabens sollen die Datengewinnung von Radoninnenraumkonzentrationen sowie die Verbesserung des Radonwissens in der Bevölkerung sein. Bei der Konzeption dieses Citizen Science-Vorhabens sind messtechnische, soziale, gesellschaftliche und rechtliche Aspekte zu berücksichtigen.

Dazu wird im Projekt zur Nutzbarkeit von Citizen Science zunächst der Stand der Wissenschaft in diesem Bereich erarbeitet. Darüber hinaus werden gelungene Citizen Science-Projekte im naturwissenschaftlich-technischen Bereich in Deutschland, aber auch internationale Radonprojekte identifiziert und beschrieben sowie deren Erfolgsfaktoren herausgearbeitet. Mit Hilfe dieser Erkenntnisse und durch die Einbeziehung von Expert*innen wird anschließend geprüft, ob und inwieweit sich der Citizen Science-Ansatz eignet, um in Deutschland zur Datengewinnung von Radon in Innenräumen beizutragen. Die Ausarbeitung konkreter Vorschläge und Strategien zur Entwicklung eines Citizen Science-Projektes zu Radon ist Bestandteil der Studie.

Thema			
Untersuchung der Abhängigkeit der Radonkonzentration in der Bodenluft in rund 1 Meter Tiefe von Wetterparametern für Böden mit verschiedenen Permeabilitäten und Nutzungshistorien			
Subject			
<i>Investigation of the dependence of radon concentration in soil gas in 1 meter depth on weather parameters for soils with different gas permeabilities and utilisation history</i>			
Kennzeichen 3621S12240	Beginn 01.11.2021	Ende 31.7.2024	Fördermittel EUR 368.067,-
Forschungs- / Auftragnehmer Sachverständigenbüro Dr. J. Kemski			
Projektleitung Dr. J. Kemski	Fachbetreuung BfS Dr. E. Petermann / UR 2		verantwortlich für den Text Dr. J. Kemski

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Das geogene Radonpotenzial bestimmt zusammen mit Gebäudeeigenschaften und Nutzerverhalten in wesentlichem Maße die Höhe der Radonkonzentration in der Raumluft. Das geogene Radonpotenzial kann räumlich in Abhängigkeit von Gesteins- und Bodeneigenschaften variieren und hängt entscheidend von der Radonkonzentration in der Bodenluft und der Gaspermeabilität des oberflächennahen Bodens ab. Beide Parameter können in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen (z. B. Witterung) auch zeitliche Unterschiede aufweisen.

Bodenluftdaten in Deutschland sind in der Regel mittels standardisierter Kurzzeitmessungen erhoben worden. Hierbei ist der standortbezogene Einfluss der zeitlichen Variabilität auf die Messwerte nicht ohne Weiteres zu quantifizieren. Die Beschreibung und mögliche Quantifizierung dieser Einflüsse mit Hilfe von Bodenluftmessungen und Modellrechnungen sind Ziel des Vorhabens.

An drei Standorten, die sich im Wesentlichen in der Gasdurchlässigkeit des Bodens unterscheiden (z. B. lehmig, schluffig, sandig), sowie einem Standort mit anthropogener Überprägung sollen Feldmessungen über einen Zeitraum von 18 Monaten durchgeführt werden.

An jedem Standort sind kontinuierliche Messungen in drei unterschiedlichen Tiefen (z. B. 40, 70, 100 cm) mit einem Messintervall von 1 Stunde vorgesehen. Parallel dazu sollen an drei weiteren Pegeln in einem 14-tägigen Rhythmus aus jeweils 1 m Tiefe Bodenluftproben entnommen, die Radonkonzentration in der Bodenluft gemessen und zusätzlich die Gasdurchlässigkeit des Bodens bestimmt werden. Zusätzlich sind Witterungs- und Bodenparameter (z. B. Temperatur, Luftdruck, Feuchte, Niederschlag, Wind) in 1 Stunden-Intervallen aufzunehmen, um mögliche Korrelationen zur Radonkonzentration und Gasdurchlässigkeit erkennen und quantifizieren zu können.

Kontinuierliche zeitauflösende Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft stellen keine Standardanwendung dar, d. h. hierfür muss zunächst eine geeignete feldtaugliche und möglichst robuste Messmimik entwickelt und erprobt werden. Die Kurzzeitmessungen sollen mit Hilfe der bekannten Verfahren durchgeführt werden, die in den letzten 30 Jahren bei der Erhebung des Datenbestandes für die Erstellung der Karten der Radonkonzentration in der Bodenluft und des geogenen Radonpotenzials zum Einsatz kamen.

THEMENBEREICH 02 / STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Thema

Entwicklung eines Prüfkonzepts für die Gewährleistung des Strahlenschutzes beim Betrieb von Ultrakurz-puls-Lasern

Subject

Development of a test concept for ensuring radiation protection during the operation of ultrashort pulse lasers

Kennzeichen
3620S22373

Beginn
01.05.2021

Ende
30.04.2023

Fördermittel
EUR 269.618,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig
Projektpartner: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Projektleitung
B. Pullner (PTB),
Dr. J. Krüger (BAM)

Fachbetreuung BfS
M. Baier / MB 6

verantwortlich für den Text
Dr. M. Schmitt Rahner (PTB),
Dr.-Ing. K. Böttcher (BAM),
Dr. U. Stolzenberg (PTB)

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden zwei verschiedene Prüfverfahren für Ultrakurz-puls-Laseranlagen entwickelt, validiert und verglichen. Anschließend wird je nach Anwendungsfeld eine Empfehlung für ein Prüfkonzept gegeben. Um ein zuverlässiges und praxistaugliches Prüfkonzept zur Beurteilung des Strahlenschutzes beim Betrieb von UKP-Laserbearbeitungsmaschinen zu entwickeln, wird beim ersten Prüfkonzept der Fokus auf das Gehäuse und dessen Fähigkeit, vor ionisierender Strahlung hinreichend zu schützen, gesetzt. Dieses Prüfkonzept sieht vor, anstelle von laserinduzierter Strahlung ein kontinuierliches Strahlungsfeld (z. B. durch einen Röntgenstrahler) für die Gehäuseprüfung zu verwenden. Auf Grund der sehr variablen und stark von Bestrahlungsparametern und Prozessgeometrie beeinflussten Laser-Plasma-Wechselwirkung und der daraus folgenden Emission von Röntgenstrahlung ist es erfahrungsgemäß wenig praktikabel, die laserinduzierte Strahlung für Strahlenschutzprüfungen zu verwenden. Ein Vorteil bei der Verwendung von Röntgenstrahlern zur Prüfung ist, dass sie ein gut charakterisiertes, kontinuierliches Spektrum mit konstanter Dosisleistung liefern und damit reproduzierbare Prüfungsergebnisse ermöglichen. Außerdem ist das Prüfkonzept durch diesen Ansatz unabhängig von zukünftigen Entwicklungen in der UKP-Lasertechnologie.

Das zweite Prüfkonzept basiert auf der Prüfung verschiedener UKP-Laseranlagen unter Berücksichtigung der Betriebsart bzw. des Verwendungszwecks. Es ist sehr zeitaufwendig, das jeweilige Worst-Case-Szenario zu ermitteln und reproduzierbar einzustellen. Aus diesem Grund wird ein praktikables und reproduzierbares Referenzszenario entwickelt, das für die Strahlenschutzprüfungen verwendet werden kann.

Zur Validierung der Prüfverfahren wird die Praxistauglichkeit der Prüfkonzepte an mindestens drei verschiedenen UKP-Laseranlagen mit verschiedenen Gehäusetypen überprüft. Als Prüflinge für die Validierung sind die beiden UKP-Laseranlagen an der BAM und PTB vorgesehen. Zudem wird eine Messreihe zu einem Hersteller von UKP-Laseranlagen geplant, um die Validierung an einer dritten Anlage durchzuführen.

Das Forschungsvorhaben setzt sich aus den folgenden Arbeitspaketen zusammen:

- Ermittlung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik im Bereich der konkreten Strahlenschutzprüfung an UKP-Lasern (AP 1),
- Erarbeitung eines praxistauglichen Prüfverfahrens (AP 2),
- Validierung der Prüfverfahren an realen UKP-Laserbearbeitungsmaschinen (AP 3).

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

Thema			
Validierung genetischer Loci, die das Lungenkrebsrisiko in Abhängigkeit von der Radonexposition beeinflussen - genetische Typisierung			
Subject			
<i>Validation of genetic loci, which influence lung cancer risk in dependence from Radon exposition - genetic typing</i>			
Kennzeichen 3621S32220	Beginn 01.10.2022	Ende 28.02.2023	Fördermittel EUR 273.483,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Institut für Pathologie, Abt. allg. und molekulare Pathologie, Universität Tübingen			
Projektleitung Dr. I. Bonzheim	Fachbetreuung BfS Dr. M. Gomolka / WR 1		verantwortlich für den Text Prof. Dr. F. Fend

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Das strahleninduzierte Lungenkrebsrisiko ist individuell unterschiedlich und basiert unter anderem auf genetischen Faktoren, die z. B. die DNA-Reparatur modifizieren. In den Vorläuferprojekten (3614S10013 - Genomweite Typisierung, 3614S10014 - Qualitätssicherung, 3615S2253 - Assoziationsstudie strahleninduzierter Lungenkrebs) wurde erstmalig in einer genomweiten Analyse eine signifikante genetische Assoziation zu verschiedenen vererbten Markern gefunden, welche in Abhängigkeit der Radonexposition auf die Lunge, das Lungenkrebsrisiko erhöhen. Die Ergebnisse wurden mittels OncoArray-500K BeadChip erzielt. Es konnten sieben genomische Regionen mit suggestiver und ein Markercluster mit genomweiter Signifikanz identifiziert werden.

Im vorliegenden Projekt wird die DNA aus Formalin-fixiertem Normalgewebe von 500-600 Lungenkrebsfällen von Uranbergarbeitern der SAG/SDAG Wismut untersucht, um zu überprüfen, ob sich der Einfluss der im Projekt 3620S32271 priorisierten 10 Kandidatengene auf das Lungenkrebsrisiko bestätigen lässt.

Dazu wird die Typisierung mittels einer „Next Generation“ Sequenzierungs-Methode durchgeführt. Hierbei werden 28 genomische Marker in den 10 Kandidatengenomen untersucht. Die Marker werden zuvor an 15 Proben mit fragmentierter DNA etabliert. In weiteren 50 DNA-Kontrollproben, die aus Formalin-fixiertem Gewebematerial gewonnen wurden, wird die Methode validiert. Nach erfolgreicher Validierung werden die DNA-Proben der Uranbergarbeiter untersucht. Zusätzlich erfolgt eine Untersuchung der kodierenden Sequenz des *TP53*-Gens und der Hotspotregionen des *KRAS*-Gens, um eine Kontamination des Normalgewebes durch Tumorgewebe auszuschließen.

THEMENBEREICH 04 / MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Thema			
Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm (Mortalitätsevaluation) - 2. Teil der Hauptstudie			
Subject			
<i>Evaluation of the breast cancer mortality in the German mammography-screening-program</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3621S42410	15.12.2021	30.09.2024	EUR 1.817.912,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Epidemiologie und Sozialmedizin, Bereich Klinische Epidemiologie, Münster			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Prof. Dr. med. A. Karch, Dr. med. H. Minnerup	Prof. Dr. G. Brix / MB	Prof. Dr. med. A. Karch	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

In der Hauptstudie II sollen verschiedene, tlw. zusammengeführte, Datenbestände mit unterschiedlichen, sich ergänzenden, Analyseverfahren ausgewertet werden, um die wissenschaftlich umfassende Evaluation des deutschen Mammographie-Screening-Programms (MSP) bzgl. der Brustkrebsassoziierten Sterblichkeit abschließen zu können.

Der erste Schritt hierfür ist, die Datenbestände zunächst zu finalisieren. Grundlage dabei sind die Konzepte der technischen Verfahren zur Nutzung und Zusammenführung von evaluationsrelevanten Sekundärdaten verschiedener Datenhalter aus den Machbarkeitsstudien (UFOPLAN-Vorhaben 3610S40002 und 3614S40002). Diese wurden in der Hauptstudie I (REFOPLAN-Vorhaben 3617S42410) in den Routinebetrieb überführt. Damit wurde die Datengrundlage bereits generiert.

Im kassenbasierten Ansatz ist noch ein weiteres Datenjahr für einzelne Krankenkassen in den Datenbestand einzuarbeiten. Außerdem sind die in den Krankenkassendaten fehlenden Informationen zur Todesursache zu ergänzen. Hierzu sind einerseits die direkten Todesursachenabgleiche mit dem Bayerischen Krebsregister, dem Epidemiologischen Krebsregister Niedersachsen und dem Landeskrebsregister Nordrhein-Westfalen (LKR NRW) zu vervollständigen. Andererseits sind für die übrigen Bundesländer die Todesursachen mit Hilfe des adaptierten Gagnon-Algorithmus indirekt zu ermitteln und den Krankenkassendaten beizufügen.

Im bevölkerungsbasierten Ansatz müssen noch weitere Daten des LKR NRW zugeführt sowie der Kassenärztlichen Vereinigung Westfalen-Lippe zur Vervollständigung der Datenbasis verarbeitet werden. Damit soll der bisherige Teildatensatz aus Daten der Screeningeinheiten, des LKR NRW und der Kassenärztlichen Vereinigung Nordrhein vervollständigt werden.

Für die angestrebte Verknüpfung der Datenbestände aus bevölkerungs- und kassenbasierten Ansätzen sind die dafür erforderlichen Genehmigungsverfahren abzuschließen. Sofern diese erfolgreich waren, sind auf Basis der in der Hauptstudie I entwickelten Konzepte die technischen Voraussetzungen für die Datenzusammenführung zu schaffen und selbige durchzuführen.

Im Sinne der konvergierenden Evidenzen sollen im letzten Drittel des Vorhabens verschiedene Analysen umgesetzt werden, um so den Einfluss des MSP auf die Brustkrebssterblichkeit bestmöglich abschätzen zu können. Im kassenbasierten Ansatz wird die Auswertung von Emulated Target Trials gemäß dem umfassenden Studienprotokoll aus der Hauptstudie I umgesetzt. Eine weitere Optimierung des genannten Algorithmus ist vorgesehen, um so die indirekte Todesursachenanreicherung zu verbessern. Im bevölkerungsbasierten Ansatz werden neben der klassischen Korrekturfaktorenanalyse auch die zusätzlich konzipierten Auswertungsansätze der Hauptstudie I fortgeführt.

THEMENBEREICH 05 / RADIOÖKOLOGIE

Thema

Entwicklung eines AMS-Messsystems zur radiologischen Charakterisierung von aktivierten Reaktor-komponenten in der Stilllegung hinsichtlich der Freigabefähigkeit

Subject

Development of an AMS-System for Radiological Characterization of Activated Reactor-Components for Decommissioning and Clearance

Kennzeichen
3621E03520

Beginn
24.09.2021

Ende
30.4.2024

Fördermittel
EUR 427.041,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH

Projektleitung
M. Dewald

Fachbetreuung BfS
Dr. R. Merk / UR 6

verantwortlich für den Text
M. Dewald

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Das Ziel des Forschungsvorhabens 3621E03520 ist die Entwicklung und Testung eines Messverfahrens, mit dem sich Nachweismessungen zur Freigabe oder die radiologische Charakterisierung zur Bewertung der Freigabefähigkeit aktivierter Strukturen optimieren lassen. Mit Hilfe der Beschleuniger-Massenspektrometrie (accelerator mass spectrometry, AMS) werden Radionuklide in Materialproben bestimmt, die mit gängigen Bestimmungsverfahren wie der Gammaskopie oder der LSC nicht bzw. nur schwer zu messen sind, um eine genaue Kenntnis der Aktivierung des Materials zu erlangen und dessen Freigabefähigkeit besser bewerten zu können. Diese Vorgehensweise ermöglicht die Reduzierung von abschätzungsbedingten Konservativitäten von etablierten Messmethoden und trägt dazu bei, dass freigabefähiges Material nicht als radioaktiver Abfall behandelt wird. Konkret soll dies am Beispiel aktivierter Betonstrukturen gezeigt werden. Im Vorhaben werden hierzu neutronenaktivierte Betonstrukturen über eine optimierte AMS-Messung auf ihren Gehalt an C-14 hin untersucht.

Durch die Nutzung von AMS können Nachweismessungen zur Freigabe verbessert werden. Hierbei spielt besonders das Radioisotop C-14 eine entscheidende Rolle, da es sich ohne aufwendige Probenaufbereitung mittels AMS messen lässt. Die AMS-Technik besetzt im Zusammenhang mit der Freigabe und radiologischen Charakterisierung eine Nische und kann in vielen Validierungsfragen durch den direkten messtechnischen Zugang zu schwer messbaren Radionukliden Klarheit schaffen und somit zur weiteren Optimierung der Nachweissicherheit beitragen. Diese Forschung ist daher nicht nur national, sondern auch international von großer Bedeutung.

Im Einzelnen werden folgende Aspekte bearbeitet:

- Entwicklung eines kombinierten Verfahrens zur Bestimmung des Stickstoffanteils und der C-14-Konzentration von Betonproben ohne chemische Aufbereitung
- Test des Systems mit Hilfe von definiert mit Neutronen bestrahlten sowie realen, im Betrieb bestrahlten Betonproben
- Bewertung des Verfahrens für den Einsatz in der Stilllegung und die Verwendung von C-14 als Leitnuklid
- Vergleich der Aussagen der AMS-Charakterisierung mit herkömmlichen Methoden zur radiologischen Charakterisierung in der Stilllegung, Analyse des Optimierungspotenzials und des Beitrags für den Stand von Wissenschaft und Technik

Thema			
Weiterentwicklung des atmosphärischen Radionuklid-Transport-Modells ARTM zur Verarbeitung komplexer und realitätsnaher Wind- und Turbulenzfelder für eine realitätsnähere Modellierung von emittierten radioaktiven Stoffen in die Umwelt			
Subject			
<i>Further development of the atmospheric radionuclide transport model ARTM to process complex and realistic wind and turbulence fields for a more realistic modelling of emitted radioactive substances into the environment</i>			
Kennzeichen 3621S52510	Beginn 02.12.2021	Ende 30.09.2024	Fördermittel EUR 335.035,-
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

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Das Ausbreitungsmodell ARTM wird vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) dazu eingesetzt, die atmosphärische Ausbreitung von Radionukliden möglichst realitätsnah zu simulieren. Nur durch diese realitätsnahe Ausbreitungsrechnung können die Vorgaben der EURATOM-Richtlinie 2013/59/Euratom bezüglich einer realistischen Ermittlung der Exposition durch in die Atmosphäre freigesetzte, luftgetragene Radionuklide umgesetzt werden. Um dies dauerhaft zu gewährleisten, ist es fachlich relevant, das Lagrange-Partikelmodell ARTM immer wieder an den fortschreitenden Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen, das Modell weiter zu entwickeln und zu validieren. Die Verwendung eines Lagrange-Partikelmodells für die Ermittlung der Exposition der Bevölkerung wurde zudem in der am 31.12.2018 in Kraft getretenen neuen StrlSchV vom 29.11.2018 (Anlage 11 Teil C) festgelegt. Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV-Tätigkeiten) vom 08.06.2020 schreibt sowohl für die retrospektive als auch für die prospektive Berechnung der Exposition die Verwendung eines Lagrange-Partikelmodells für die atmosphärische Ausbreitungsrechnung vor.

In diesem Forschungsvorhaben soll nun schwerpunktmäßig die Ausbreitungsrechnung von radioaktiven Emissionen dadurch verbessert und realitätsnäher gestaltet werden, dass zeitlich und räumlich höher aufgelöste und bezüglich des Windfeldmodells verbesserte Eingabedaten verwendet werden können. Durch die höhere Auflösung der Eingabedaten (z. B. 2D-Niederschlagsverteilungen statt einheitlicher Regenraten im gesamten Simulationsgebiet) und deren Verbesserung können dann auch zeitlich und räumlich höher aufgelöste, realitätsnähere Ausgabedaten erzeugt und für die weitere Analyse verwendet werden.

Das Vorhaben setzt sich insgesamt aus sechs fachlichen Arbeitspaketen zusammen. Neben der Literaturrecherche, um den Stand von Wissenschaft und Technik zu ermitteln, werden dazu Fachkonferenzen besucht. Das Open-Source-Programm ARTM wird in der Programmiersprache C in drei Arbeitspaketen weiterentwickelt. Validierungen mit Hilfe von durch das BfS zur Verfügung gestellten experimentellen Daten bilden ein weiteres Arbeitspaket. Anwenderschulungen und Workshops stellen den Austausch mit den Anwender*innen sicher.

Thema			
Verifizierung des neuen BfS-Dosismodells DARTM bezüglich des Luftpfads für Expositionsrechnungen nach der gültigen AVV Tätigkeiten			
Subject			
<i>Verification of the new BfS dose model DARTM with regard to the air pathway for exposure calculations according to the valid AVV activities</i>			
Kennzeichen 3621S52520	Beginn 02.12.2021	Ende 31.10.2022	Fördermittel EUR 75.499,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung H. Thielen	Fachbetreuung BfS Dr. M. Pattantyús-Ábrahám / UR 3	verantwortlich für den Text H. Thielen Dr. M. Pattantyús-Ábrahám	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Die mit der Fortluft und dem Abwasser aus Kernkraftwerken abgeleiteten radioaktiven Stoffe tragen zur Strahlenbelastung der Bevölkerung bei. Daher müssen diese radioaktiven Stoffe durch die Betreiber nach Art und Aktivität ermittelt und bilanziert werden. Aus den bilanzierten Ableitungen kann dann die Strahlenbelastung in der Umgebung einer kerntechnischen Anlage für die in der Strahlenschutzverordnung definierte sogenannte „repräsentative Person“ berechnet werden. Die Berechnung dieses Anteils an der Strahlenbelastung der Bevölkerung erfolgt anhand des Dosisprogramms DARTM, in dem die Direktstrahlung sowie die mit dem Ausbreitungsprogramm ARTM berechneten zwei- bzw. dreidimensionalen Verteilungen der Aktivitätskonzentration, der Gammasubmersion sowie der nassen und trockenen Deposition für das jeweils betrachtete Radionuklid berücksichtigt werden.

Mit Einführung der neuen Strahlenschutzverordnung wurde die Allgemeine Verwaltungsverordnung (AVV) zu § 47 StrlSchV(alt) (Strahlenschutzverordnung von 2001) durch die neue „AVV-Tätigkeiten“ ersetzt. Da die verifizierte Version von DARTM nicht mehr die in der „AVV-Tätigkeiten“ implementierten Berechnungsvorgaben vollständig abdecken kann, wurde beim BfS ein neues radioökologisches Dosismodell entwickelt.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Neuimplementierung des Dosisprogramms DARTM vom BfS, das auf der Novellierung der „AVV-Tätigkeiten“ beruht, zu verifizieren. Dabei werden alle Teilpfade (Inhalation, Ingestion, Gamma- und Betasubmersion, Gamma-Bodenstrahlung, Direktstrahlung, Radon-Folgeprodukte) durch eine Auswahl typischer Radionuklide unterschiedlicher chemisch-physikalischer Form berücksichtigt. Auch wird belegt, dass die bei der „AVV-Tätigkeiten“ festgelegten Vorgaben (z. B. Altersgruppen, Aufenthaltsort, Lebensmittelerzeugung) von DARTM korrekt umgesetzt wurden.

THEMENBEREICH 06 / NOTFALLSCHUTZ

Thema Unterstützung der RLZ-Notfallübungen			
Subject <i>Support of the RLZ emergency exercises</i>			
Kennzeichen 3621S62560	Beginn 02.12.2021	Ende 31.01.2023	Fördermittel EUR 198.438,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung Dr. E. Mühr-Ebert	Fachbetreuung BfS Dr. J. Weismüller / RN 2	verantwortlich für den Text Dr. E. Mühr-Ebert, Dr. J. Weismüller	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Gemäß den Anforderungen des Gesetzes zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (StrlSchG) - s. § 102 „Notfallübungen“ - müssen die in die Bewältigung eines radiologisch signifikanten Ereignisses involvierten Behörden regelmäßige Übungen abhalten, um die entsprechenden Aufgaben zum Schutz der Bevölkerung effizient wahrnehmen zu können. Das Radiologische Lagezentrum des Bundes (RLZ) unter der Leitung der Kopfstelle beim BMUV führt regelmäßige Notfallübungen durch, um die RLZ-interne Zusammenarbeit mit dem BfS und der GRS sowie die RLZ-externe Zusammenarbeit mit nationalen und ausländischen Behörden sowie internationalen Institutionen bei einem radiologischen Notfall zu testen und ggf. zu verbessern. Die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung solcher Übungen stellen eine anspruchsvolle fachliche Aufgabe dar. Insbesondere müssen die Übungsinhalte (Szenario mit einem geeigneten Ereignisablauf, Übungsdrehbuch etc.) vertraulich behandelt werden, um die übenden Fachkräfte mit geeigneten Herausforderungen in einer möglichst realistisch gestalteten Krisensituation während der Übung zu konfrontieren.

Die GRS ist u. a. für fachliche Abschätzungen möglicher Gefahrenpotentiale in einem radiologischen Notfall zuständig. In einer Reihe von Vorläufervorhaben im Auftrag von BMUV/BfS wurden von der GRS bereits umfangreiche Erfahrungen auf dem Gebiet der Analysen radiologisch signifikanter Ereignisse in kerntechnischen Anlagen gesammelt und für die Übungsszenariomentwicklung verwendet. Diese Arbeiten werden in dem vorliegenden Vorhaben fortgesetzt. Dabei wird das von der GRS bereits analysierte Ereignisspektrum durch weitere Gefährdungspotentiale ergänzt, mit denen das RLZ bei einem Notfall konfrontiert werden kann. Die erarbeiteten Ereignisabläufe werden für die Erstellung eines Übungsszenarios für weitere RLZ-Notfallübungen verwendet. Im Rahmen des Vorhabens wird ein für RLZ-Notfallübungen geeignetes neues Szenario erarbeitet. Darüber hinaus wird bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von drei RLZ-Notfallübungen Unterstützung geleistet.

THEMENBEREICH 07 / VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Thema			
Durchführung einer repräsentativen Erhebung im Jahr 2021 mit dem Titel „Was denkt Deutschland über Strahlung? Umfrage 2021“			
Subject			
<i>Conduct of a representative survey on “What does Germany think about radiation? Survey 2021”</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3621S72210	01.11.2021	31.07.2022	EUR 155.771,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
GIM Gesellschaft für Innovative Marktforschung Heidelberg			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. T. Jerković, A. Wachenfeld-Schell	Christiane Pözl-Viol / Risikokommunikation und Wissensmanagement	Dr. T. Jerković, A. Wachenfeld-Schell	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Als übergeordnete operative Ziele gelten für die zuständigen Behörden BMU und BfS die Information der Bevölkerung über Strahlenwirkungen und Strahlenrisiken sowie über das richtige Strahlenschutzverhalten.

Ziel des aktuellen Forschungsvorhabens ist es, die allgemeine gesellschaftliche Verankerung von Strahlung und Strahlenschutz, die Wahrnehmungen, Kenntnisse und Informationsbedürfnisse der Bevölkerung in Deutschland zu erheben.

Um diese operativen Ziele mittels empirischer Erkenntnisse zu erreichen, wurde eine mehrphasige sozialwissenschaftliche Studie initiiert. Forscherische Ziele und Fragestellungen sind:

- Wissen und Wahrnehmung zu Strahlung allgemein
- Risikowahrnehmung von Strahlung
- Strahlenschutzverhalten bzw. -absicht
- Informationsverhalten und -bedarf
- Wahrnehmung des BfS sowie Erwartungen an Informationsmaßnahmen

Die Studie wird in einem zweistufigen Forschungsdesign durchgeführt:

- AP 1: Qualitative Erhebung mit zwei Fokusgruppen (jeweils 120 Minuten Dauer) sowie 40 Einzelinterviews (jeweils 60 Minuten Dauer). Die Feldphase zu AP 1 wurde im Dezember 2021 und Januar 2022 abgeschlossen.
- AP 2: Quantitative CATI-Erhebung, die hinsichtlich demografischer und sozialstruktureller Merkmale repräsentativ für die deutsche Bevölkerung (in Privathaushalten lebende Personen) ab 16 Jahren ist. Insgesamt N = 2 000 Fälle bei einer Interviewdauer von ca. 22 Minuten. Die Vorbereitung für AP 2 wurde im Februar 2022 begonnen.

Thema			
Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschuss Materialprüfung (NMP) sowie aus dem Komitee K967 der DKE			
Subject			
<i>Revision of technical radiation protection standards in the range of the Materials Testing Standards Committee (NMP) and from the working group K967 of the DKE</i>			
Kennzeichen 3621S72340	Beginn 29.03.2021	Ende 31.03.2024	Fördermittel EUR 234.107,-
Forschungs- / Auftragnehmer DIN Deutsches Institut e. V., Berlin			
Projektleitung M. Treige	Fachbetreuung BfS U. Häusler / MB 6		verantwortlich für den Text J. Winkler

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Das Projekt „Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschuss Materialprüfung“ (3621S72340) hat zum Ziel, verschiedene Normen zu überprüfen und dem Stand der Technik sowie dem geänderten Regelwerk anzupassen. Dies bedeutet, dass u. a. die Änderungen des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG), der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und des kerntechnischen Regelwerks (KTA und DIN) sowie die neue SEWD-Richtlinie des BMUV zu berücksichtigen sind.

Folgende Normen werden im Rahmen dieses Projektes überprüft und überarbeitet:

- DIN 25404, Kerntechnik; Formelzeichen
- DIN 25407 (Teile 1, 2 und 3 und Beiblatt), Abschirmwände gegen ionisierende Strahlung
- DIN 25457 (Teile 1 bis 7 und Beiblatt), Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlagenteilen
- DIN 25700, Oberflächenkontaminationsmessungen an Fahrzeugen und deren Ladungen in strahlenschutzrelevanten Ausnahmesituationen
- DIN 25415, Radioaktiv kontaminierte Oberflächen - Verfahren zur Prüfung und Bewertung der Dekontaminierbarkeit
- DIN 25466, Radionuklidabzüge - Regeln für die Auslegung und Prüfung

Gemäß nachträglichem und bewilligtem Antrag durch den DIN e. V. wird im Rahmen des Projektes zudem DIN 25422 (Aufbewahrung und Lagerung sonstiger radioaktiver Stoffe - Anforderungen an Aufbewahrungseinrichtungen und deren Aufstellungsräume zum Strahlen-, Brand- und Diebstahlschutz) kostenneutral überprüft und überarbeitet.

Zudem soll die frühzeitige und direkte Mitwirkung von deutschen Experten bei der internationalen Normung im Bereich „Strahlenschutz“ sichergestellt werden.

Dieses Vorhaben führt das bisherige Vorhaben 3617S72381 fort.

THEMENBEREICH 08 / NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Thema

Bestimmung von Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern der Elektromobilität

Subject

Assessment of exposure to electromagnetic fields caused by electromobility

Kennzeichen
3620S82473

Beginn
18.03.2021

Ende
04.2023

Fördermittel
EUR 449.025,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Seibersdorf Labor GmbH, A-2444 Seibersdorf, Österreich

Projektleitung
Dipl.-Ing. G. Schmid

Fachbetreuung BfS
D. Geschwentner / KEMF

verantwortlich für den Text
Dipl.-Ing. G. Schmid

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Ziel des Vorhabens ist die Untersuchung der maximalen und typischen Expositionen von Personen gegenüber magnetischen Feldern, die im Bereich des Fahrerplatzes bzw. der Passagierplätze in bzw. auf zwei- bzw. einspurigen Personenfahrzeugen mit Elektroantrieben für den Individualverkehr auftreten. Messungen und strahlenschutztechnische Bewertungen der auftretenden magnetischen Felder erfolgen dabei einerseits beim Fahren und andererseits während der Ladevorgänge im Fahrzeugstillstand. Dabei sollen sowohl kabelgebundenes Laden als auch kabelloses Laden betrachtet werden sowie die Exposition außerhalb bzw. neben den Fahrzeugen, d. h. im Bereich der Ladeinfrastruktur, erfasst werden. Am Beginn des Vorhabens steht die Aufarbeitung des gegenwärtigen Standes der Technik. Diese erfolgt mit Hinblick auf bereits vorliegende Expositionsdaten aus früheren Arbeiten bezüglich der Technologie und Marktsituation bei Fahrzeugen und Ladetechnik sowie Messtechnik und Standardisierung. Des Weiteren bildet sie die Grundlage für eine repräsentative Auswahl der zu untersuchenden Fahrzeuge und Ladestationen sowie für eine Optimierung der Messtechnik und Messprozeduren. Die Magnetfeldmessungen beim Fahren erfolgen sowohl unter Laborbedingungen (am Prüfstand) bei kontrollierbaren Bedingungen als auch während Fahrten auf einer Teststrecke und im Realverkehr. Neben den magnetischen Feldern, die von den Komponenten der elektrischen Antriebssysteme verursacht werden, sollen auch Magnetfeldanteile, verursacht durch andere elektrische Komponenten in den Fahrzeugen, quantifiziert werden. Für ausgewählte Situationen, in denen die Messungen im Vergleich zu den Referenzwerten hohe Immissionen zeigen, erfolgen zusätzlich numerische Berechnungen der im Körper induzierten elektrischen Feldstärken, um eine Bewertung im Hinblick auf die Basiswerte durchführen zu können. Schließlich werden die aus den Messungen und Berechnungen erhaltenen Expositionsdaten für die betrachteten Personenfahrzeuge mit vorliegenden und, durch einige zusätzliche eigene Messungen ergänzte, Daten von Elektrofahrzeugen des öffentlichen Personenverkehrs (Bahn, S-Bahn, U-Bahn, etc.) verglichen.

Thema			
Entwicklung und Verfeinerung dosimetrischer Modelle für die Expositionsanalyse und -bewertung			
Subject			
<i>Development an refinement of dosimetric models for analysis and assessment of human exposure</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3621SNA201	01.10.2021	31.10.2024	EUR 511.647,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Seibersdorf Labor GmbH, A-2444 Seibersdorf, Österreich			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dipl.-Ing. G. Schmid	Dr. A. Deser / KEMF	Dipl.-Ing. G. Schmid	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Die gegenwärtig in Deutschland geltenden Grenzwerte für niederfrequente elektrische und magnetische Felder basieren auf den von ICNIRP empfohlenen Referenzwerten für die externen (in Luft) auftretenden Feldgrößen (elektrische Feldstärke E, magnetische Flussdichte B). Innerhalb des vergangenen Jahrzehnts zeigten jedoch mehrere Publikationen unterschiedlicher Arbeitsgruppen, dass die für die Ableitung der genannten Grenzwerte verwendeten dosimetrischen Methoden noch gravierende und oftmals nicht oder nur schwer zu quantifizierende Unsicherheiten beinhalten, die eine zuverlässige Expositionsbewertung erschweren bzw. unmöglich machen. Als zentrale Punkte in diesem Zusammenhang sind neben der Unsicherheit bezüglich der verfügbaren Daten für die elektrische Leitfähigkeit und Permittivität (inkl. Anisotropie) der relevanten Körpergewebe auch noch Unsicherheiten bzw. anatomische Ungenauigkeiten in den Körpermodellen sowie numerische Artefakte zufolge der erforderlichen Diskretisierung des Rechenraumes zu sehen. Speziell im Hinblick auf die Unterdrückung von numerischen Artefakten haben sich im letzten Jahrzehnt Methoden etabliert (z. B. Perzentilbildung), deren Wirksamkeit und Sinnhaftigkeit im Rahmen der Expositionsbewertung als hinterfragenswert einzustufen sind. Dies betrifft insbesondere die Verhältnisse in der Haut sowie in Fett- und Muskelgewebe. Von den Geweben, in welche Nervenstrukturen eingebettet sind, sind diese die periphersten und damit am höchsten exponiert.

Ziel dieses Vorhabens ist es daher, ausgehend vom aktuellen Kenntnisstand, die relevanten dielektrischen Eigenschaften der relevantesten Körpergewebe (Haut, Fett und Muskel) mit optimierten Messverfahren und anhand menschlicher Gewebeproben zu bestimmen sowie die Unsicherheit der Messdaten zu quantifizieren. Darauf aufbauend sollen die oben erwähnten weiteren dosimetrischen Probleme detailliert analysiert und die Induktionsmodelle verbessert bzw. verfeinert werden. Schließlich sollen mit den verbesserten Modellen und Methoden dosimetrische Berechnungen durchgeführt werden, die eine fundierte Aussage im Hinblick auf die Konservativität der Referenzwerte erlauben, insbesondere auch im Hinblick auf Expositionssituationen mit gleichzeitiger magnetischer und elektrischer Befeldung.

THEMENBEREICH 09 / DEUTSCHES MOBILFUNK FORSCHUNGSPROGRAMM / STROMNETZAUSBAU

Thema			
Wahrnehmungsschwellen und Wirkmechanismen statischer und niederfrequenter elektrischer Felder bei Menschen			
Subject			
<i>Human perception thresholds and underlying mechanisms in static and low-frequency electric fields</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3621SNA401	01.12.2021	30.11.2023	EUR 1.233.471,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Uniklinik RWTH Aachen, Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu), Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Kraus			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. M. Kursawe	Dr. B. Pophof / KEMF	Dr. M. Kursawe, K. Jankowiak	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Durchführung einer Studie zur menschlichen Wahrnehmung von elektrischen Hybrid-Feldern, in der besonders der Einfluss von Variationen niedriger DC-Felder auf die Wahrnehmungsschwelle untersucht wird. Darüber hinaus werden im weiteren Verlauf des Projektes biologische Wirkmechanismen an einer möglichst homogenen Probandengruppe untersucht.

Die Gesamtlaufzeit von 24 Monaten gliedert sich auf in vier Arbeitspakete (AP). Zunächst erfolgt eine Literaturrecherche zur menschlichen Wahrnehmung von elektrischen Feldern. Der aktuelle wissenschaftliche Stand wird zusammengefasst und bestehende Ergebnisse werden im Hinblick auf nationale und internationale Empfehlungen zu Grenzwerten von elektrischen Feldern eingeordnet (AP 1). In AP 2 werden die Infrastruktur zur Probandenrekrutierung aufgebaut und alle nötigen Dokumente angefertigt und bereitgestellt. Parallel wird das Labor technisch vorbereitet. In AP 3 werden 40-50 Proband*innen untersucht und der Einfluss der DC-Komponente auf die Wahrnehmung elektrischer Hybrid-Felder bestimmt. Im Fokus von AP 4 steht die genauere Untersuchung der zugrundeliegenden Wirkmechanismen der menschlichen Wahrnehmung von elektrischen Feldern. Dabei wird vor allem der Einfluss von Kopf- und Körperbehaarung auf die Wahrnehmungsleistung an 30 Proband*innen erforscht, wobei die relative Luftfeuchtigkeit variiert wird. Final werden alle Ergebnisse in einem Abschlussbericht bereitgestellt.

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

2. ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)

Fünftes Mortalitäts-Follow-up (Todesursachen-Recherche) der Kohorte von ca. 60 000 Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2018 / 3618S12222

Tabelle 1: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse des 5. Mortalitäts-Follow-up

6

2.2 Themenbereich 02 Strahlenschutztechnik

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 / 3619S22370

Abbildung 1: Maximale Bestrahlungsstärke (Peak Intensität) und maximale mittlere Laserleistung der Lasermaschinen der teilnehmenden Firmen

17

Abbildung 2: Stärke des Gehäuses und Angabe des Gehäusematerials der teilnehmenden Firmen.

18

Abbildung 3: Abstand zwischen dem Personal und dem laserinduzierten Plasma und Abstand zur nächsten Maschine. Die Firmen, für die kein Datenpunkt im Diagramm vorhanden ist, haben angegeben, dass sich während des Betriebs kein Personal an der UKP-Laseranlage befindet.

18

2.3 Themenbereich 03

Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung, Strahlenempfindlichkeit

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

Abbildung 1: Überleben bestrahlter und scheinbestrahlter transgener Sca1-ETV6-RUNX1-Mäuse.

Oben: Das pB-ALL spezifische Überleben der Sca1-ETV6-RUNX1 Mäuse nach Bestrahlung mit einer einzigen Dosis Gamma-Strahlung (50 mGy, 0,5 Gy bzw. 2 Gy, n=30 je Kohorte, s. Legende) bzw. Scheinbestrahlung (0 Gy, n=30) ist gezeigt. Unten: Gesamtüberleben der in der oberen Abbildung gezeigten Mauskohorten (Log-rank. Log-rank (Mantel-Cox)-Test, p-Werte sind gezeigt. Die statistischen Analysen wurden mit GraphPad Prism v5.01 (GraphPad Software) durchgeführt (ns: nicht signifikant).

25

Tabelle 1: Übersicht über die analysierten bestrahlten bzw. scheinbestrahlten sca1-ETV6-RUNX1-Maus-Kohorten und das Auftreten von pB-ALL und weiteren Tumoren in der Nachverfolgung

25

Abbildung 2: Durchflusszytometrische Charakterisierung der Sca1-ETV6-RUNX1-Leukämien. Dargestellt sind hämatopoetische Zellpopulationen aus dem Knochenmark einer erkrankten Sca1-ETV6-RUNX1-Maus aus der 2 Gy-Bestrahlungsgruppe im Vergleich zu einer altersgleichen gesunden, scheinbestrahlten Sca1-ETV6-RUNX1-Maus (0 Gy-Bestrahlungsgruppe). Die repräsentative Darstellung zeigt die Anhäufung von unreifen B-Zell-Blasten (CD19-, B220low, IgM-, c-Kit+) in der leukämischen Sca1-ETV6-RUNX1-Maus.

26

Abbildung 3: Molekularbiologische Charakterisierung des Immunglobulin-Genrearrangements in pB-ALL bestrahlten Sca1-ETV6-RUNX1-Mäusen.

Eine Analyse der Klonalität von Leukämien, die in Sca1-ETV6-RUNX1-bestrahlten Mäusen auftreten, mittels PCR-Analyse des V-D-J Genrearrangements ist gezeigt. Sortierte CD19+ Milz-B-Zellen von gesunden Mäusen dienten als Kontrolle für polyklonale Immunglobulin-Genrearrangements. CD8+CD4+ T-Zellen aus dem Thymus von gesunden Mäusen und eine Probe ohne DNA-Zugabe (DNA-Volumen durch Wasser ersetzt, „H₂O“) dienten als Negativkontrollen. Probenauftrag wie in der Legende unter Angabe der Identnummern der Mäuse beschrieben.

27

Tabelle 2: Somatische SNV in Krebs-assoziierten Genen des "Cancer Gene Census" (CGC), die in den strahleninduzierten Tumoren (Nr. 1-6) von somatischen SNV betroffen waren.

28

Abbildung 4: Analyse der strahleninduzierten Mutationssignaturen in Sca1-ETV6-RUNX1-Leukämien.

A: Mutationsspektrum (Häufigkeit der einzelnen Basenpaaraustausche) der identifizierten somatischen SNV nach der Filterung. B: Spektrumszerlegung mit COSMIC-Signaturen als Grundlage. Die Heatmap zeigt den relativen Beitrag der einzelnen Mutationssignaturen, basierend auf den beschriebenen COSMIC-Signaturen, zum Mutationsspektrum der sechs strahleninduzierten (mit 1-6 gekennzeichnet) und der 16 nicht-strahleninduzierten Sca1-ETV6-RUNX1-pB-ALL Kontrollproben. Die Fälle wurden auf Grund ihrer Mutationssignatur geclustert. Die Skala reicht von gelb (Signatur nicht detektiert) bis dunkelblau (Signatur hat einen hohen Beitrag am Mutationsspektrum). Die Heatmap zeigt, dass die strahleninduzierten Leukämien sich mit den Kontrollen vermischen und kein separates Cluster bilden. Eine spezifische strahleninduzierte Mutationssignatur ist nicht identifizierbar. C: Die COSMIC-Signatur SBS42 zeigt den höchsten relativen Gesamtbeitrag. Der Barplot zeigt die absolute Anzahl der SNV die zur COSMIC Signatur SBS42 in den einzelnen Fällen beitragen. Der Boxplot stellt die zwei Gruppen (strahleninduzierte Leukämien vs. Kontrollen) dar.

29

Bestimmung der Frequenz präleukämischer Translokationen in Nabelschnurblut / 3618S32275

Tabelle 1: 103 von 1 405 (7,3 %) untersuchten Nabelschnurblutproben waren ETV6-RUNX1-positiv.

32

Abbildung 1: Verteilung der identifizierten Bruchpunkte und deren statistische Häufung.

37

2.4 Themenbereich 04

Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm (Mortalitätsevaluation) - 1. Teil der Hauptstudie / 3617S42402

Abbildung 1: Übersicht über die drei Auswertungsmodelle (mit Datenquellen nach beteiligten Projektpartnern)

43

Abbildung 2: Übersicht über die drei Auswertungsmodelle (mit Datenquellen nach beteiligten Projektpartnern)

44

Abbildung 3: Datenfluss im Forschungsvorhaben

45

Konzept zur Umrechnung dosisrelevanter Parameter in der digitalen Volumetomographie / 3619S42462

Abbildung 1: Zusammenhang des Konversionsfaktors k und der Halbwertschichtdicke HWD für Untersuchungen an CTDI-Prüfkörpern. Oben: CTDI-Kopfphantom; Unten: CTDI-Körperphantom;

In Rot sind die Konversionsfaktoren dargestellt, die sich aus Messungen mit der 300 mm Stabkammer ergeben. In Blau sind entsprechende Werte dargestellt, die auf Messungen von $f(0)$ basieren. Der Mittelwert beider Ergebnisse ist in Grün dargestellt. Neben den Messpunkten sind eine Ausgleichsgrade bzgl. der Mittelwerte als grüne Punkte sowie eine Vorhersage des Verlaufs auf der Basis einfacher theoretischer Überlegungen in Violett dargestellt.

59

Abbildung 2: Simulationsergebnisse für den Ansatz über technische Dosisindikatoren; Gezeigt wird die Abhängigkeit des Konversionsfaktors von der Halbwertschichtdicke des Röntgenspektrums.

60

Abbildung 3: Konversionsfaktoren aus Simulationen mit der effektiven Dosis als Kopplungsgröße: Oben: Untersuchungen des Hirnschädels (Scanbereich 1); Unten: Untersuchungen des Oberbauchs (Scanbereich 6); Die Konversionsfaktoren sind für Kombinationen von CBCT-Geräten (x-Achse) und CT-Geräten (blau für Canon Aquilion One bzw. rot für GE Optima CT 660) gegeben. Die Unsicherheitsbalken ergeben sich aus der Variation der Röntgenröhrenspannung von +/- 15 kV.

61

2.5 Themenbereich 05

Radioökologie

Integration des atmosphärischen Ausbreitungsmodells FLEXPART in RODOS zur Erweiterung der Möglichkeiten der inversen Modellierung zur Quellort- und Quelltermbestimmung auf der Grundlage von Messdaten / 3619S62500

Abbildung 1: Vergleich der FLEXPART ICON- und ECMWF-Versionen für den gut durchmischten Kriteriumstest; 3-D Windfeld (Rot und Blau zeigen Abweichungen, Weiß die volle Übereinstimmung).

70

Abbildung 2: Registrierkarte „Zusammenfassung“

71

Abbildung 3: Ergebnis eines Rückwärtslaufs "Source-Receptor Time [s]"

71

Abbildung 4: a) trockene Bodenkontamination I-131 FLEXPART, b) trockene Bodenkontamination I-131 LASAT

72

Abbildung 5: a) Wolkenankunftszeit FLEXPART, b) Wolkenankunftszeit LASAT

72

2.7 Themenbereich 07

Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition bei der mobilen Radiographie / 3617S72382

Tabelle 1: Gesamtüberblick der gesammelten Dosisdaten

88

Abbildung 1: Graphische Darstellung der Dosisleistung für Ir-192 (1225 GBq, rote Linien), projiziert auf die Körperkontur eines Prüfers beim Tragen des Geräts

89

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

Abbildung 2: Massen- und Aktivitätskonzentrationsverteilung in der Abluft vor der Vollfilteranlage

95

Abbildung 3: Vergleich der Partikelmassenkonzentration in Abluft und Fortluft zur Bewertung der Filterwirkung	96
Abbildung 4: Generische Ausbreitungsrechnung und Berechnung der Exposition ohne Unterscheidung von Partikelgrößenklassen	97
Abbildung 5: Generische Ausbreitungsrechnung und Berechnung der Exposition mit 90 % der emittierten Partikel in AED-Klasse 1	98
Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG und standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle / 3618S72392	
Abbildung 1: Gesamt-Jahreskollektivdosen des Eigen- (EP) und Fremdpersonals (FP) und Anzahl der in Betrieb und Nachbetrieb befindlichen Leistungsreaktoren (DWR und SWR). Für das Jahr 2019 wurde der Anteil der nur noch einen sich in der Nachbetriebsphase befindlichen Anlage nicht mehr separat ausgewiesen.	102
Abbildung 2: Gesamt-Jahreskollektivdosis und Anzahl der in Stilllegung befindlichen Anlagen.	103
Abbildung 3: Gesamt-Jahreskollektivdosis des Eigen- (EP) und Fremdpersonals (FP) und Anzahl der in Stilllegung befindlichen Anlagen.	104
Abbildung 4: Logarithmisch dargestellte Gesamt-Jahreskollektivdosis und Anzahl der Anlagen der Ver- und Entsorgung.	105
Abbildung 5: Logarithmisch dargestellte Gesamt-Jahreskollektivdosis des Eigen- (EP) und Fremdpersonals (FP) und Anzahl der Anlagen der Ver- und Entsorgung.	106
Repräsentative Umfrage zur deutschlandweiten Erfassung verhältnispräventiver Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen bei Kindertagesstätten und Schulen / 3619S72401	
Tabelle 1: Charakteristika der Analysestichprobe	112
Abbildung 1: Vorhandensein verschiedener verhältnispräventiver Maßnahmen im Außenbereich, gegliedert nach Kindertagesstätten und Schulen.	113
Abbildung 2: Beschattung des Außengeländes durch baulich-technische Maßnahmen bzw. Bepflanzung, gegliedert nach Kindertagesstätten und Schulen.	114
Abbildung 3: Ausreichen des beschatteten Anteils des Außengeländes bei Anwesenheit aller betreuten Kinder/Schüler*innen gleichzeitig (angenommen wird ein Platzbedarf von 1 m ² pro Person), gegliedert nach Kindertagesstätten und Schulen.	114
Tabelle 2: Nutzung und Zufriedenheit mit den Maßnahmen (angegeben sind gültige Prozente)	115
2.8 Themenbereich 08	
Nichtionisierende Strahlung	
Bewertende Literaturstudie zum Auftreten, zur Ausbreitung und zu gesundheitlichen Auswirkungen von ionisierten Schadstoffpartikeln in der Umgebung von Starkstromleitungen / 3618S82453	

Abbildung 1: 95 %-Perzentile der Konzentrationen positiver (blau) oder negativer (rot) Cluster-Ionen in verschiedenen Abständen von einer HGÜ in New Hampshire bei entweder monopolarer (volle Symbole) oder bipolarer (offene Symbole) Betrieb der Leitung. Die Linien geben die theoretisch erwarteten Maximalwerte bei verschiedenen Leitungsspannungen U und Windgeschwindigkeiten v an.

136

Abbildung 2: Anzahlgrößenverteilung geladener Partikel im Bereich 1-40 nm in verschiedenen Umgebungen, entnommen aus verschiedenen Publikationen. Schwarz: 2-5 m von einer Autobahn. Rot: etwa 10-20 m windabwärts von Wechsellspannungsleitungen (mittlere Spannung 275 kV). Blau: 56 m windabwärts einer 750-kV-Gleichspannungs-Testleitung (nur ein Wert, für den Bereich 12-40 nm). Grün: Verschiedene Messungen im ruralen Hintergrund. Die in der Atmosphärenphysik übliche Dreiteilung der Größenverteilung geladener Partikel in Cluster-, Intermediäre und Große Ionen ist angegeben.

138

Abbildung 3: Differentielle Deposition geladener Partikel im Atemtrakt, gemessen in der Experimentalstudie einer italienischen Forschungsgruppe um Claudia Melandri (publiziert 1983) für drei verschiedene Partikelgrößen (rot: 300 nm, grün: 600 nm, blau: 100 nm Durchmesser); unterschiedliche Symbole stehen für unterschiedliche Subjekte (freiwillige Versuchsteilnehmer). Die Darstellung erfolgte als Funktion eines Parameters K (siehe Text).

139

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

Abbildung 1: Verteilung der Werte der maximalen 5G-Immissionen in Grenzwertausschöpfungsbereiche.

144

Abbildung 2: Verteilung der Werte der typischen 5G-Immissionen in Grenzwertausschöpfungsbereiche.

144

Abbildung 3: Verteilung der Werte der momentanen 5G-Immissionen in Grenzwertausschöpfungsbereiche.

145

Tabelle 1: Zusammenfassung aller Ergebnisse aus den gemischten ANOVA-Modellen, die sich im Zusammenhang mit dem Zwischensubjektfaktor „Geschlecht“ (oben) und „Altersgruppe“ (unten) ergeben haben. Zur besseren Lesbarkeit der Tabelle sind die Endpunkte, für die Effekte gefunden werden konnten, grau hervorgehoben. Die Zahlen entsprechen den statistisch signifikanten Ergebnissen in Beziehung zu den getesteten Zielparametern des jeweiligen Endpunkts. Der Übersichtlichkeit halber basieren die Angaben zu den EEG-Powerwerten auf einer Zusammenfassung von Ergebnissen und Zielparametern.

153

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

Tabelle 1: Durchschnittliche Gliom-Inzidenzraten 2007-2016 in den nordischen Ländern

169

Abbildung 1: Gliom-Inzidenzraten von 1979 bis 2016 in den vier nordischen Ländern zusammen für die Altersgruppen der 20-39-Jährigen, 40-59-Jährigen, 60-69-Jährigen und 70-84-Jährigen, getrennt nach Männern und Frauen; Inzidenzraten in pro 100 000 Einwohner (Alternativtext: Die Abbildung zeigt die Gliom-Inzidenzraten pro 100 000 Einwohner von 1979 bis 2016 in den vier nordischen Ländern zusammen für die Altersgruppen der 20-39-Jährigen, 40-59-Jährigen, 60-69-Jährigen und 70-84-Jährigen - links für die Männer und rechts für die Frauen. Eine Erklärung der Abbildung findet sich in Abschnitt 5.1.)

170

Tabelle 2: Standardisierte Inzidenzraten (SIR) beim Vergleich der tatsächlich beobachteten Inzidenzraten bei 40-59-jährigen Männern in den nordischen Ländern mit simulierten Inzidenzraten unter verschiedenen Mobilfunk-assoziierten Risiken

171

2.9 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 / 3619S92412

Abbildung 1: Menü des eLearnings für Lehrkräfte zur Orientierung der Lernenden (l.) und beispielhafte Folie aus einer der insgesamt fünf Lerneinheiten (r.)

177

Abbildung 2: Beispielhafte Lernerfolgskontrolle im eLearning

178

Abbildung 3: Auszüge aus dem Foliensatz der Informationsveranstaltung für Lehrkräfte

178

Abbildung 4: Titelblatt der Broschüre für Behördenvertreter*innen

179

3. STATUSBERICHTE

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

Tabelle 1: Vergleich der Risikoschätzer in der Simulationsstudie für den vorgeschlagenen Bayesianischen Ansatz mit „Regression Calibration“, „Simulation Extrapolation“ und einer naiven Schätzung, die die Messfehler nicht berücksichtigt.

184

3.3 Themenbereich 03

Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung, Strahlenempfindlichkeit

Untersuchung biologischer Mechanismen strahlen-induzierter Herz-Kreislauf-Erkrankungen / 3621S32210

Tabelle 1: Übersicht *in vitro* Assays Screening AP 2

207

Abbildung 1: Übersicht Proteome Profiler Membran nach Inkubation mit Zellkulturüberstand aus HUVEC und HCF-Zellen. 36 verschiedene Zytokine werden parallel detektiert.

208

3.7 Themenbereich 07

Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Eine vergleichende Evaluation der Online-Krisenkommunikation von Behörden und unabhängigen Expert*innen im Zuge der Covid-19-Pandemie als Grundlage für die Verbesserung der BfS-Krisenkommunikation - Los 1 / 3620S72215

Tabelle 1: Auswahl der Kommunikator*innen und Social-Media-Profile

266

Tabelle 2: Themenblöcke im Gesprächsleitfaden für die Kommunikator*innen

267

Tabelle 3: Themenblöcke im Gesprächsleitfaden für die Nutzer*innen

267

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

331

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
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit
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	messenger RNA
MRT/MRI	Magnetresonanztomographie / Magnet Resonance Imaging
MSP	Mammographie-Screening-Programm
ODL	Ortsdosisleistung
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PCR	polymerase chain reaction
PET-CT	Positronen-Emissions-Tomographie (PET) - Computertomographie
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
RBW	resolution band width
RLZ	Radiologisches Lagezentrum des Bundes
RNA	Ribonukleinsäure (ribonucleic acid)
ROC	receiver operating characteristic
RöV	Röntgenverordnung
RT-PCR	reverse transcription-polymerase chain reaction
SAR	spezifische Absorptionsrate
siRNA	small interfering RNA
SNV	single nucleotide variants
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 (ZD 2)

Postfach 10 01 49

D-38201 Salzgitter

Tel.: (030) 18333-2119