



Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Wissenschaftliche Berichte
FZKA 7410

Jahresbericht 2007 der Hauptabteilung Sicherheit

Redaktion: M. Urban, A. Bickel
Hauptabteilung Sicherheit

August 2008

Forschungszentrum Karlsruhe
In der Helmholtz-Gemeinschaft
Wissenschaftliche Berichte
FZKA 7410

Jahresbericht 2007
der Hauptabteilung Sicherheit

Redaktion: M. Urban, A. Bickel
Hauptabteilung Sicherheit

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe
2008

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft
Deutscher Forschungszentren (HGF)

ISSN 0947-8620

urn:nbn:de:0005-074103

Zusammenfassung

Die Aufgabenstellung der Hauptabteilung Sicherheit umfasst Genehmigungsverfahren sowie die Kontrolle und die Durchführung von Arbeitssicherheits-, Strahlenschutz- und Werkschutzmaßnahmen in den und für die Institute und Abteilungen des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH sowie die Abwasser- und Umgebungsüberwachung für alle Anlagen und kerntechnischen Einrichtungen auf dem Gesamtgelände des Forschungszentrums. Kompetenzerhalt im Strahlenschutz wird als weitere wichtige Aufgabe im Sinne einer aktiven Personalplanung für die Zukunft angesehen. Nachwuchswissenschaftler, junge Ingenieure, Diplomanden und Doktoranden führen kleine F+E-Projekte durch.

Der vorliegende Bericht informiert über die einzelnen Aufgabengebiete der Hauptabteilung und berichtet über die im Jahr 2007 erarbeiteten Ergebnisse.

Central Safety Department, Annual Report 2007

Summary

The Central Safety Department is responsible for licensing procedures and for supervising, monitoring and executing measures of industrial health and safety, radiation protection and security service at and for the institutes and departments of the Forschungszentrum Karlsruhe GmbH (Karlsruhe Research Centre), and for monitoring liquid effluents and the environment of all facilities and nuclear installations on the premises of the Research Centre. With regard to keep present knowledge in Radiation Protection, junior scientists, young engineers, PhD- and Master students do some R&D projects within the Central Safety Department.

This report gives details of the different duties and reports the results of 2007 routine tasks, investigations and developments of the working groups of the Department.

The reader is referred of the English translation of Chapter 1 describing the duties and organization of the Central Safety Department in more detail.

Inhaltsverzeichnis

1	Hauptabteilung Sicherheit: Aufgaben und Organisation.....	1
2	Genehmigungsverfahren	11
3	Arbeitssicherheit.....	16
3.1	Organisation und Aufgaben der Gruppe konventionelle Arbeitssicherheit	16
3.2	Unfallgeschehen	16
3.3	Arbeitsplatzüberwachungen	17
3.4	Arbeitsschutzausschuss	18
3.5	Arbeitssicherheitsmanagementsystem.....	18
3.6	Umgang mit Gefahrstoffen.....	19
3.7	Wiederkehrende Prüfungen.....	20
4	Biologische Sicherheitsbereiche.....	22
4.1	Gentechnische Anlagen.....	22
4.1.1	Beratung und Organisation (Gentechnikrecht).....	22
4.1.2	Begehungen und Sicherheitsunterweisungen in gentechnischen Anlagen.....	23
4.1.3	Dokumentations- und Berichtspflichten in gentechnischen Anlagen	23
4.2	Tierhaltungsanlagen	24
4.2.1	Beratung und Organisation (Tierschutzrecht).....	24
4.2.2	Dokumentations- und Berichtspflichten gemäß TierSchG	24
4.3	Arbeiten mit infektiösen Materialien und Infektionsschutz	25
5	Strahlenschutz	27
5.1	Strahlenschutzorganisation im Forschungszentrum.....	27
5.2	Administrativer Strahlenschutz	27
5.2.1	Bestellung von Strahlenschutzbeauftragten nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung	27
5.2.2	Umsetzung des atomrechtlichen Regelwerkes	28
5.2.3	Betriebsüberwachung	28
5.2.4	Zentrale Erfassung und Überwachung von Personen nach Röntgen- und Strahlenschutzverordnung	29
5.2.4.1	Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen.....	29
5.2.4.2	Überwachung von Personen, die keine beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorien A oder B nach StrlSchV sind.....	30
5.2.4.3	Überwachung von Besuchern in Kontrollbereichen des Forschungszentrums	30
5.2.4.4	Inkorporationsüberwachung im Forschungszentrum	30
5.2.4.5	Ergebnisse der Personendosisüberwachung.....	31
5.2.5	Personen in fremden Strahlenschutzbereichen.....	32

5.2.5.1	Fremdfirmenpersonal in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums	32
5.2.5.2	Personal des Forschungszentrums Karlsruhe in Strahlenschutzbereichen fremder Anlagen oder Einrichtungen	33
5.2.5.3	Strahlenpassstelle	34
5.2.6	Zentrale Buchführung radioaktiver Stoffe	35
5.2.6.1	Kernmaterialbuchführung und Euratom-Aufsicht	35
5.2.6.2	Buchführung sonstiger radioaktiver Stoffe	36
5.2.6.3	Buchführungs- und Berichtspflicht der gemäß § 29 StrlSchV freigegebenen Stoffe	37
5.2.7	Transport radioaktiver Stoffe	39
5.3	Verpflichtungen aufgrund des Verifikationsabkommens zur Kernmaterialüberwachung und des Zusatzprotokolls zum Verifikationsabkommen	40
5.4	Meldepflichtige Ereignisse nach Strahlenschutzverordnung	41
5.5	Operationeller Strahlenschutz	42
5.5.1	Arbeitsplatzüberwachung	42
5.5.2	Personendosimetrie	42
5.5.2.1	Kontaminationskontrollen	44
5.5.2.2	Arbeitserlaubnisse Strahlenschutz	45
5.5.2.3	Schichtdienst und Rufbereitschaft	45
5.5.2.4	Aus- und Weiterbildung	46
5.5.3	In-vivo Messlabor	46
5.5.3.1	Routine- und Sondermessungen	46
5.5.3.2	Cs-137-Referenzmessungen	49
5.5.4	Kalibrieranlagen	50
5.5.4.1	Routinekalibrierung	51
5.5.4.2	Amtliche Eichabfertigungsstelle	51
5.5.4.3	Auftragsarbeiten	51
5.5.4.4	Vorbereitungen zur Einführung einer automatisierten Datenerfassung	52
5.5.4.5	Bestimmung des Strahlenkegels an der Röntgenanlage	53
5.5.4.6	Halbwertsschichtdickenbestimmung	53
5.5.4.7	Eichfristverlängerung	51
5.5.5	Strahlenschutzmesstechnik	55
5.5.5.1	Aufgaben	55
5.5.5.2	Wartung und Reparatur	56
5.5.5.3	Datenerfassung fürs Qualitätsmanagement	56
5.5.6	Konventionelle Überwachungssysteme	56
5.6	Freigabe nach §29 StrlSchV	56

5.6.1	Standardverfahren	56
5.6.2	Einzelfallverfahren	57
5.7	Physikalisches Messlabor	58
5.7.1	Aufgaben	58
5.7.2	Messsysteme	58
5.7.2.1	Alpha-Beta-Messtechnik	58
5.7.2.2	Gamma-spektrometrie	59
5.7.2.3	Alphaspektrometrie	59
5.7.2.4	Flüssigszintillationsspektrometrie	60
5.8	Chemische Analytik	61
5.8.1	Aufgaben	61
5.8.2	Radiochemische Arbeiten	62
5.9	Raumluftüberwachung	64
5.9.1	Probenentnahme	65
5.9.2	Probenauswertung	65
5.10	Dichtheitsprüfungen	66
5.10.1	Voraussetzungen	66
5.10.2	Probenentnahme	66
5.10.3	Probenauswertung	66
6	Kompetenzerhalt im Strahlenschutz	68
6.1	Nachweis von Radionukliden im low(est)-level-Bereich	68
6.1.1.1	Radiochemische Analytik	68
6.1.1.1.1	Bestimmung von schwer nachweisbaren Radionukliden in unterschiedlichen Materialien im low(est)-level Bereich	68
6.1.2	Physikalische Messverfahren	70
6.1.2.1	Eine Methode für die Aktivitätsbestimmung von Alphastrahlern mittels GIK-Spektrometrie	70
6.2	Dosimetrie zur Messung äußerer Strahlenexposition	71
6.2.1	Bestimmung von Gammadosen in gemischten Photonen-Neutronen-Strahlenfeldern und Energiekompensationsfilter für CaF ₂ :Tm-Detektoren	71
6.2.2	Neues H*(10)-Umgebungsdosimeter für Photonen	73
6.2.3	H*(10)-Ortsdosimeter für TLD-Karten	74
6.2.4	Erweiterung des Neutronendosis-Messbereichs für Kernspurdetektoren	77
6.2.5	Bestimmung des Neutronen-Untergrundes an einer modernen Beschleunigeranlage am Beispiel des gasgefüllten Separators TASCA an der GSI	79
6.2.6	Messungen von HP(007) mit einer Beta-Sonde	86

6.2.7	Untersuchung zum Betadosisanteil im Hinblick auf die biologische Wirksamkeit der Weltraumstrahlung bei der BIOPAN Weltraummission	89
6.3	Anwendung von Routineverfahren zur Bestimmung der äußeren Strahlenexposition	92
6.3.1	TLD Verfahren.....	92
6.3.1.1	Umgebungsdosimetrie und spezielle Anwendungen	92
6.3.1.2	Bereitstellung einer IMIS Schnittstelle für die LUBW	93
6.3.1.3	Nichtamtliche Personen- und Teilkörperdosimetrie	94
6.4	Dosimetrie nach Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper	95
6.4.1	Direkter Nachweis radioaktiver Stoffe im menschlichen Körper	96
6.4.1.1	Characterisation of a Canberra Cryo Pulse CP-5 Radiation Detector.....	96
6.4.1.2	Elektronentransport mit MCNP — insbesondere bei dünnen Volumina.....	100
6.4.1.3	Numerische Effizienzkalibrierung bei In-vivo-Messverfahren mittels an den Probanden angepassten Voxelmodellen.....	102
6.4.1.4	Numerische Simulation von im Karlsruher Ganzkörperzähler gemessenen IGOR-Spektren	105
6.4.2	Biokinetik radioaktiver Stoffe im Körper	108
6.4.2.1	Entwicklung biokinetischer Modelle zur Beschreibung der Wirkung von DTPA in Hinblick auf die Diagnostik und Therapie bei Inkorporationen von Plutonium und anderen Transuranen	108
6.4.2.2	Physiologie basierte biokinetische Modellierung	112
6.4.2.3	Untersuchung der inter-individuellen Variation von biokinetischen Modellen.....	118
6.5	Natürliche Strahlenexposition, Strahlenexposition bei „Arbeiten“	124
6.5.1	Routinemäßige Ermittlungen der Radonexposition mit Kernspurverfahren	124
6.5.2	Teilnahme an der Vergleichsbestrahlung des BfS	124
6.5.3	Radon in Wasserwerken, BWPlus Projekt.....	125
6.5.4	Radonmessungen an einer Schule.....	129
6.5.5	Radon in Bodenluft	134
6.5.6	Aufbau einer Rn-220 Folientestanlage	142
6.5.7	Aufbau einer Rn-222 Kalibrieranlage.....	143
6.6	Nachwuchsförderprojekte	145
6.6.1	Messungen mit dem K-40 Flaschenphantom im Rahmen der Nachwuchsförderung	145
7	Umweltschutz.....	147
7.1	Betriebsbeauftragte im Umweltschutz	147
7.1.1	Gefahrgutbeauftragter	147
7.1.2	Betriebsbeauftragter für Abfall	150
7.1.3	Betriebsbeauftragter für Immissionsschutz.....	156

7.1.4	Betriebsbeauftragter für Gewässerschutz.....	157
7.2	Emissions- und Umgebungsüberwachung	157
7.2.1	Fortluftüberwachung	158
7.2.1.1	Ableitung nicht-radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2007.....	158
7.2.1.1.1	Verbrennungsanlage der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe.....	158
7.2.1.1.2	Versuchsanlagen TAMARA und THERESA	159
7.2.1.1.3	Fernheizwerk und Blockheizkraftwerk	160
7.2.1.2	Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2007	160
7.2.1.3	Strahlenexposition in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe durch die mit der Fortluft abgeleiteten radioaktiven Stoffe im Jahr 2007	171
7.2.1.3.1	Berechnungsgrundlagen	171
7.2.1.3.2	Meteorologische Daten.....	171
7.2.1.3.3	Ausbreitung und Ablagerung	172
7.2.1.3.4	Rechenprogramme.....	172
7.2.1.3.5	Einteilung der radioaktiven Emissionen in Nuklidgruppen und Einzelnuklide	172
7.2.1.3.6	Ergebnisse der Dosisberechnung.....	174
7.2.2	Abwasserüberwachung.....	180
7.2.2.1	Ableitung nichtradioaktiver Stoffe mit dem Abwasser im Jahr 2007.....	182
7.2.2.2	Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser 2007	184
7.2.2.3	Strahlenexposition in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe durch die mit dem Abwasser in den Rhein abgeleiteten radioaktiven Stoffe im Jahr 2007.....	186
7.2.3	Radiologische Umgebungsüberwachung	187
7.2.3.1	Direktmessung der Strahlung	191
7.2.3.2	Radioaktivitätsmessungen	192
7.2.3.3	Messfahrten im Rahmen des Störfalltrainingsprogramms	195
7.2.3.4	Teilnahme an den internationalen <i>In-situ</i> -Vergleichsmessungen „ISIS 2007“	197
8	Werkschutz.....	201
8.1	Anmeldung und Zugang.....	201
8.2	Werkschutzbereiche	202
8.3	Werkfeuerwehr.....	202
8.4	Einsatzleitung und Einsatzplanung	204
8.4.1	Einsatzplanung	204
8.4.2	Statistik und Analyse der Einsatzleiter-Einsätze.....	204
8.4.3	Übungen der Einsatzdienste	205
8.5	Verkehrsdienst.....	206
8.6	Schadensaufnahme	206

8.7	Schlüsselverwaltung.....	207
8.8	Technische Sicherungssysteme.....	207
9	Zentrale Aufgaben.....	209
9.1	Datenverarbeitung der Hauptabteilung Sicherheit.....	209
9.1.1	IT-Infrastruktur	209
9.1.1.1	LAN	209
9.1.1.2	Hochverfügbare Server-Infrastruktur (Cluster).....	210
9.1.1.3	Serverkonsolidierung	211
9.1.2	Elektronische Dosimetrie	211
9.1.3	Spezielle HS-Programme	211
9.2	Abteilungsübergreifende Arbeiten.....	212
9.2.1	Erweiterung des Schlüssellersatzsystems.....	213
9.3	Hausmeistertätigkeiten.....	213
10	Management-Systeme in der Hauptabteilung Sicherheit.....	215
10.1	Zertifizierung der gesamten Hauptabteilung Sicherheit	215
10.2	Qualitätsmanagement Akkreditierungen.....	215
10.2.1	Akkreditierung des Physikalischen Messlabors.....	215
10.2.2	Akkreditierung des In-vivo Messlabors	215
10.3	Arbeitssicherheitsmanagementsystem	216
10.4	Begutachtung des Radonlabors durch das BfS	217
10.5	Ausblick	217
11	Veröffentlichungen	218
12	Literatur.....	220

Verzeichnis der Abkürzungen

ANKA	Ängströmquelle Karlsruhe
AtG	Atomgesetz
AtZüG	Atomrechtliche Zuverlässigkeitsüberprüfungs-Verordnung
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft- und Ausfuhrkontrolle
BArbBl.	Bundesarbeitsblatt
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BImSchV	Bundesimmissionsschutz-Verordnung
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BR	Betriebsrat
BTI	Bereich Technische Infrastruktur
BTI-B	Bereich Technische Infrastruktur, Abteilung Bauplanung
BTI-F	Bereich Technische Infrastruktur, Abteilung Fertigung
BTI-V	Bereich Technische Infrastruktur, Abteilung Ver- und Entsorgung
EKM	Hauptabteilung Einkauf und Materialwirtschaft
FIZ	Fachinformationszentrum Karlsruhe
FR2	Forschungsreaktor 2
FTU	Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt
GenTAufzV	Gentechnikaufzeichnungsverordnung
GenTG	Gentechnikgesetz
GenTR	Gentechnikrecht
GenTSV	Gentechnik-sicherheitsverordnung
GSF	GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
HDB	Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe
HS	Hauptabteilung Sicherheit
HS-M	Hauptabteilung Sicherheit, Amtliche Messstelle
HS-TBG	Hauptabteilung Sicherheit, Abteilung Technische Beratung und Genehmigungen
HS-KES	Hauptabteilung Sicherheit – Kompetenzerhalt Strahlenschutz
HS-ÜM	Hauptabteilung Sicherheit, Abteilung Überwachung und Messtechnik
HS-WS	Hauptabteilung Sicherheit, Abteilung Werkschutz
HS-ZA	Hauptabteilung Sicherheit Zentrale Aufgaben
HVT	Hauptabteilung Versuchstechnik
HVT-TL	Hauptabteilung Versuchstechnik/Tritiumlabor

IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation
IBG	Institut für Biologische Grenzflächen
IfSG	Infektionsschutzgesetz
IFP	Institut für Festkörperphysik
IHM	Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik
IK	Institut für Kernphysik
IMF-FML	Institut für Materialforschung – Fusionsmateriallabor
IMK	Institut für Meteorologie und Klimaforschung
IMK-IFU	Institut für Meteorologie und Klimaforschung/Atmosphärische Umweltforschung
INE	Institut für Nukleare Entsorgung
IRS	Institut für Reaktorsicherheit
ITC-CPV	Institut für Technische Chemie/Chemisch-Physikalische Verfahren
ITC-TAB	Institut für Technische Chemie/Thermische Abfallbehandlung
ITC-WGT	Institut für Technische Chemie/Wasser- und Geotechnologie
ITG	Institut für Toxikologie und Genetik
ITP	Institut für Technische Physik
ITU	Institut für Transurane
KAZ	Kompaktzyklotron
KHG	Kerntechnische Hilfsdienst GmbH
KIZ	Karlsruher Isochronzyklotron
KNK	Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage
KrW/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
MAP	Stabsabteilung Marketing, Patente und Lizenzen
MED	Medizinische Abteilung
MZFR	Mehrzweckforschungsreaktor
ÖA	Stabsabteilung Öffentlichkeitsarbeit
OKD	Stabsabteilung Organisation und Kaufmännische Datenverarbeitung
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
RöV	Röntgenverordnung
StFA	Stabsstelle „Fachkräfte für Arbeitssicherheit“
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
TAMARA	Testanlage für Müllverbrennung, Abgasreinigung, Rückstandsverwertung, Abwasserbehandlung
THERESA	Versuchsanlage zur thermischen Entsorgung spezieller Abfälle
TierSchG	Tierschutzgesetz
TRBA	Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe

TÜV ET	TÜV Energie- und Systemtechnik GmbH Baden-Württemberg
UM	Umweltministerium Baden-Württemberg
VTMVO	Versuchstiermeldeverordnung
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
ZAG	Zyklotron Aktiengesellschaft
ZKBS	Zentrale Kommission für die Biologische Sicherheit

1 Hauptabteilung Sicherheit: Aufgaben und Organisation

Die Aufgabenstellung der Hauptabteilung Sicherheit umfasst die Kontrolle und die Durchführung von Arbeitssicherheits-, Strahlenschutz-, sowie Werkschutzmaßnahmen in den und für die Institute und Abteilungen des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH, sowie die Abwasser- und Umgebungüberwachung für alle Einrichtungen auf dem Gelände des Forschungszentrums, die mit radioaktiven Stoffen umgehen. Eine weitere Kernaufgabe stellt die Bearbeitung und Koordination von Genehmigungsverfahren dar. Kompetenzerhalt im Strahlenschutz wird als weitere wichtige Aufgabe im Sinne einer aktiven Personalplanung für die Zukunft angesehen. Nachwuchswissenschaftler, junge Ingenieure, Diplomanden und Doktoranden führen kleine F+E-Projekte durch.

Die Hauptabteilung Sicherheit verfügt über ein Qualitätsmanagementsystem, im Jahr 2007 wurde die gesamte Hauptabteilung zertifiziert, und das „In-Vivo-Messlabor“ als zweites Labor nach dem „Physikalischen Messlabor“ akkreditiert.

Am 31. Dezember 2007 waren in der Hauptabteilung Sicherheit 202 wissenschaftliche, technische und administrative Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie drei Doktoranden der Universität Karlsruhe beschäftigt. 14 Studierende wurden im Rahmen der dualen Ausbildung mit der Berufsakademie Karlsruhe zu Ingenieurinnen und -ingenieuren hauptsächlich im Bereich Strahlenschutz, aber auch im Bereich Arbeitssicherheit ausgebildet. Der Organisationsplan der Hauptabteilung ist auf Seite 5 wiedergegeben.

Abteilung Technisch-Administrative Beratung und Genehmigungen (HS-TBG)

Diese Abteilung hat beratende, kontrollierende und administrativ steuernde Funktionen auf den Gebieten der Arbeitssicherheit, der biologischen Sicherheit, des Strahlenschutzes, der Überwachung und Buchführung radioaktiver Stoffe, der Abfallwirtschaft, der Gefahrgüter und des betrieblichen Notfallschutzes. Sie überprüft in den zur Umsetzung und Durchführung verpflichteten Organisationseinheiten die Erfüllung gesetzlicher Pflichten, behördlicher Auflagen und Vorschriften zur technischen Sicherheit. Zu ihren Aufgaben gehört die Erfassung und Dokumentation sicherheitsrelevanter Daten und Vorgänge. Weitere Aufgabenschwerpunkte sind die organisatorische und administrative Durchführung der Emissions- und Immissionsüberwachung für alle atomrechtlichen Umgangsgenehmigungen des Forschungszentrums sowie die Planung und Durchführung von Genehmigungsverfahren für den Forschungsbereich mit Ausnahme von Baugenehmigungen.

Die Arbeitsgruppe mit dem Schwerpunkt „Arbeitssicherheit“ ist Ansprechpartner für die Organisationseinheiten des Zentrums und Kontaktstelle zu den Behörden in Fragen der konventionellen Arbeitssicherheit. Sie überwacht die innerbetriebliche Umsetzung entsprechender Auflagen. Sie führt die Bestellung der nach den Unfallverhütungsvorschriften geforderten Beauftragten durch und sorgt für deren Aus- und Weiterbildung. Zur Information der Mitarbeiter des Zentrums werden von der Arbeitsgruppe Informationsmedien zur Verfügung gestellt. Zur Beurteilung des Unfallgeschehens im Zentrum werden die Unfälle analysiert und ausgewertet. Die Erledigung der Arbeiten erfolgt in enger Koordination mit der Stabsstelle „Fachkräfte für Arbeitssicherheit (StFA)“.

Im Arbeitsschwerpunkt „Strahlenschutz“ werden für den Strahlenschutzverantwortlichen die Bestellungen der Strahlenschutzbeauftragten durchgeführt und deren Tätigkeit sowie der praktische Strahlenschutz durch Information, Beratung und Behördenkontakte unterstützt und die Einhaltung der Vorschriften der Strahlenschutz- und der Röntgenverordnung sowie behördlicher Auflagen überprüft. Weitere Aufgaben sind die Pflege der Datenbanken mit den Messdaten der beruflich strahlenexponierten Personen und die Terminverfolgung für Strahlenschutzunterweisungen und arbeitsmedizinische Untersuchungen. Er schafft die Voraussetzungen für den Einsatz von Fremdfirmenpersonal in Kontrollbereichen des Forschungszentrums und stellt die Strahlenpässe für die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Forschungszentrums aus, die in fremden An-

lagen oder Einrichtungen tätig werden. Als weitere Aufgabe wird hier zentral für das Forschungszentrum die Buchhaltung zur Überwachung von Kernmaterial und sonstigen radioaktiven Stoffen im Forschungszentrum durchgeführt, Materialbilanzberichte erarbeitet und an die zuständigen Behörden weitergeleitet sowie Inspektionen und Inventuren durch Euratom vorbereitet und begleitet. Die administrative Bearbeitung von Freigabeverfahren im Sinne des § 29 StrlSchV einschließlich der zugehörigen Buchführungs- und Mitteilungspflichten wird ebenfalls von dieser Arbeitsgruppe wahrgenommen.

Im Arbeitsschwerpunkt „Umweltschutz“ sind die Abfall-, Gefahrgut-, Immissionsschutz- und Gewässerschutzbeauftragten zusammengefasst, denen die Aufgaben entsprechend gesetzlicher Regelungen übertragen sind. Es sind dies insbesondere Beratungs-, Informations- und Überwachungsaufgaben in den für die Umwelt relevanten Bereichen. Umwelt und sicherheitsrelevante Informationen werden für die Verantwortlichen in Form von Datenbanken zur Verfügung gestellt. Hierzu gehören u. a. Sicherheitsdatenblätter und Gefahrstoffinformationen. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Überwachung der Emissionen radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus den kerntechnischen Anlagen, Einrichtungen und Instituten des Forschungszentrums Karlsruhe und die Überwachung der Immissionen in der Umgebung. Überwachungsziel ist die möglichst lückenlose Erfassung aller Emissionen und Immissionen und der auf Messungen und Berechnungen gestützte Nachweis der Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte.

Abteilung Überwachung und Messtechnik (HS-ÜM)

Die Abteilung „Überwachung und Messtechnik“ (HS-ÜM) unterstützt die Strahlenschutzbeauftragten, die für den Schutz der mit radioaktiven Stoffen umgehenden oder ionisierender Strahlung ausgesetzten Personen des Forschungszentrums verantwortlich sind. Aus dieser Aufgabenstellung heraus sind viele Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen dieser Abteilung dezentral in den Organisationseinheiten des Forschungszentrums tätig. Sie sind dort die Ansprechpartner in Fragen des arbeitsplatzbezogenen Strahlenschutzes, sie geben Hinweise und Empfehlungen und achten auf strahlenschutzgerechtes Verhalten.

Die Abteilung betreibt das Freimesslabor, in dem die nuklidspezifischen Analysen durchgeführt werden, die erforderlich sind, um beim Rückbau und Abriss kerntechnischer Anlagen anfallende radioaktive Reststoffe uneingeschränkt verwerten oder wie gewöhnlicher Abfall beseitigen zu können.

Von den Bereichen „Arbeitsplatzüberwachung“ werden die Auswertung der direkt anzeigenden Dosimeter vorgenommen, die amtlichen Dosimeter, sowie nach Bedarf Teilkörper- oder Neutrendosimeter ausgegeben, nach Plan Kontaminations- und Dosisleistungsmessungen durchgeführt und die Aktivitätskonzentration in der Raumluft überwacht. Die Strahlenschutzmitarbeiter veranlassen bei Personenkontaminationen die Durchführung der Dekontamination. Zu ihrer Aufgabe gehört die Überwachung der Materialtransporte aus den Kontrollbereichen in das Betriebsgelände des Forschungszentrums und aus dem Betriebsgelände nach außen. Ihre Aufgabe umfasst auch die Durchführung von Messungen für die Entscheidung, ob eine Freigabe des Materials aus der atomrechtlichen Überwachung möglich ist, oder ob das Material als radioaktiver Abfall entsorgt werden muss. Neben den strahlenschutzrelevanten Messungen vor Ort werden auch Messaufgaben aus dem Bereich des konventionellen Arbeitsschutzes durchgeführt.

Das akkreditierte „physikalische Messlabor“ ermittelt die Aktivitätskonzentrationen der Abwässer der Einrichtungen des Forschungszentrums und entscheidet, ob diese Abwässer dekontaminiert werden müssen oder direkt der Kläranlage zugeführt werden dürfen. Sie bilanziert die Aktivitätsableitungen in den Vorfluter. Dieser Gruppe obliegt darüber hinaus die Durchführung aller spektrometrischen Nuklidbestimmungen.

In der Gruppe „Chemische Analytik“ werden die radiochemischen Untersuchungen von Umweltproben, von Proben im Rahmen der Emissionsüberwachung und von Proben für das Freimesslabor durchgeführt. Zur Bestimmung des Radioaktivitätsgehaltes von Luft, Wasser, Boden,

Sediment, Fisch und landwirtschaftlichen Produkten werden regelmäßig Proben in der Umgebung des Forschungszentrums genommen und in den Laboratorien der Abteilung gemessen.

Im Aufgabenschwerpunkt „Strahlenschutzmessgeräte“ werden Wartungsarbeiten, Reparaturen und Kalibrierungen an Anlagen zur Raum- und Abluftüberwachung und an Gammapegel-Messstellen durchgeführt. Weitere Aufgaben sind die Eingangskontrolle neuer Geräte, der Test von neu auf dem Markt angebotenen Messgeräten, sowie der Betrieb von Anlagen zur Kalibrierung von Dosis- und Dosisleistungsmessgeräten.

Abteilung Kompetenzerhalt im Strahlenschutz (HS-KES)

In Zusammenarbeit mit der Universität Karlsruhe und der Berufsakademie Karlsruhe und mit Unterstützung des Umweltministeriums des Landes Baden-Württemberg und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung werden in der Hauptabteilung Sicherheit mehrere Programme zum Kompetenzerhalt im Strahlenschutz durchgeführt. Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler arbeiten unter Anleitung erfahrener Kollegen und unter Einbindung von Studenten, Diplomanden und Doktoranden auf den Gebieten:

- Kernstrahlenmesstechnik und Spektrometrie
- Radiochemie
- externe Dosimetrie
- Biokinetik sowie In-Vivo-Diagnostik radioaktiver Stoffe im Körper und interne Dosimetrie sowie
- natürliche Strahlenexposition am Arbeitsplatz, in Wohnungen, in der Umwelt

Des Weiteren werden in der Abteilung „Kompetenzerhalt im Strahlenschutz“ aber auch das „In-Vivo-Messlabor“ und das „Radonlabor“ betrieben und Routineaufgaben im Bereich der nicht-amtlichen Personendosimetrie und Ortsdosimetrie erledigt.

Im akkreditierten „In-vivo-Messlabor“ werden mittels Ganz- und Teilkörperzählern Nukliddepositionen im Körper ermittelt und Verfahren zur Bestimmung der Äquivalentdosis bei innerer Strahlenexposition weiterentwickelt. Im Vordergrund steht neben den Routinemessungen die stetige Verbesserung des Nachweises von Thorium, Uran, Plutonium und Americium in Lunge, Leber und im Skelett, sowie die Interpretation von Messergebnissen anhand von Stoffwechselmodellen.

Das „Radonlabor“ entwickelte passive Radondiffusionskammern (Radonexposimeter) mit Kernspürzätdetektoren zur Bestimmung der natürlichen Strahlenexposition durch Radon und stellte diese sowohl Wasserwerken als auch privaten Kunden zur Verfügung. In der Regel wird auch die Auswertung vom Radonlabor übernommen.

Abteilung Werkschutz (HS-WS)

Der Abteilung Werkschutz besteht aus den Gruppen „Werkschutzbereiche“, „Technische Werkschutzmaßnahmen“ und „Werkfeuerwehr“.

Zu den Aufgaben der Gruppe „Werkschutzbereiche“ gehört der allgemeine Werkschutz durch Streifen- und Überwachungsdienst für das Gesamtareal des Forschungszentrums Karlsruhe. Diese Gruppe führt Kontrollen von zur Ein- oder Ausfuhr bestimmten Gütern durch, überwacht das Schließwesen und ist für den ordnungsgemäßen Ablauf des Straßenverkehrs im Bereich des Forschungszentrums zuständig. Es wird auf die Einhaltung der Ordnungs- und Kontrollbestimmungen geachtet und im Rahmen der bestehenden Möglichkeiten, die Aufklärung von Schadensfällen betrieben.

Die Gruppe „Technische Werkschutzmaßnahmen“ ist zuständig für die Bearbeitung und Ausstellung von Zutrittsberechtigungen nach behördlichen Auflagen, die Erstellung von Werksausweisen und für Auswahl, Einsatz und Funktionssicherheit technischer Sicherungssysteme.

Die „Werkfeuerwehr“ ist mit einer Schicht ständig einsatzbereit. Ihre Aufgaben umfassen neben Löscheinsätzen, vorbeugenden Brandschutzmaßnahmen und technischen Hilfeleistungen auch die Prüfungen, Instandsetzungen und Wartungsarbeiten an allen im Zentrum benutzten Atemschutztechnischen Geräten, sowie den Feuerlöscheinrichtungen. Der Leiter der Werkfeuerwehr ist Einsatzleiter im Sinne des Alarmplanes des Forschungszentrums, in seiner Abwesenheit wird er vom amtierenden Schichtführer vertreten.

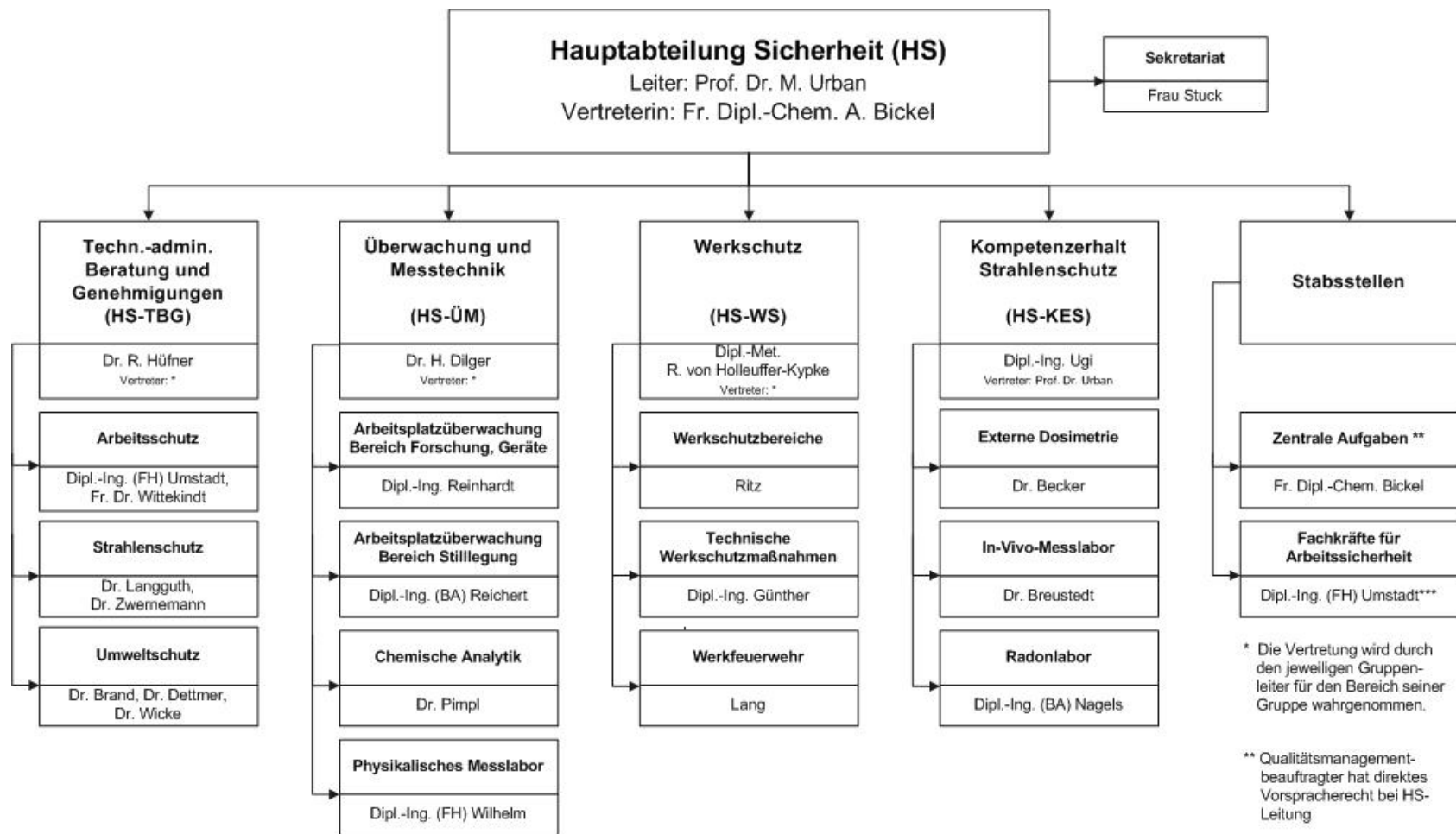
Stabsstelle „Zentrale Aufgaben“ (HS-ZA)

Die Stabsstelle „Zentrale Aufgaben“ nimmt die Erledigung der Querschnittsaufgaben der Hauptabteilung Sicherheit teilweise wahr und unterstützt zum anderen Teil koordinierend die anderen Abteilungen.

Als Arbeitsschwerpunkte wurde dem Stab der Betrieb und die Weiterentwicklung der HS-Datenverarbeitung und die Koordination von abteilungsübergreifenden Arbeiten übertragen. Des Weiteren wurde innerhalb der Stabsstelle das Qualitätsmanagementsystem (QMS) der Hauptabteilung Sicherheit aufgebaut und weiterentwickelt. Das QMS unterstützte wesentlich die im Jahr 2007 durchgeführten Akkreditierungen und die Zertifizierung der HS.

Stabsstelle „Fachkräfte für Arbeitssicherheit“ (StFA)

Zur Umsetzung des Arbeitssicherheitsgesetzes im Forschungszentrum Karlsruhe wurde eine Stabsstelle „Fachkräfte für Arbeitssicherheit“ eingerichtet. Hier sind vier Sicherheitsingenieure tätig, die den Arbeitgeber beim Arbeitsschutz und bei der Unfallverhütung in allen Fragen der Arbeitssicherheit einschließlich der menschengerechten Gestaltung der Arbeit unterstützen. Ihre besondere Aufgaben ergeben sich aus § 6 des Arbeitssicherheitsgesetzes.



* Die Vertretung wird durch den jeweiligen Gruppenleiter für den Bereich seiner Gruppe wahrgenommen.

** Qualitätsmanagementbeauftragter hat direktes Vorspracherecht bei HS-Leitung

*** Als leitende Fachkraft für Arbeitssicherheit unmittelbar dem Vorstand unterstellt.

1 Central Safety Department: Duties and Organisation

The Central Safety Department is responsible for licensing, supervising, monitoring and, to some extent, executing measures of radiation protection, industrial health and safety as well as physical protection and security at and for the institutes and departments of the Forschungszentrum Karlsruhe GmbH (Karlsruhe Research Centre), and for monitoring liquid effluents and the environment of all facilities and nuclear installations on the premises of the Centre. To keep at least present knowledge in Radiation Protection is regarded to be essential for the future. Therefore junior scientists, young engineers, PhD- and Masters students do some R&D projects in the Central Safety Department. This happens in close cooperation with the Karlsruhe Scientific University and the Karlsruhe University of Cooperative Education.

The Central Safety Department has a quality management system implemented. In 2007 the whole Central Safety Department achieved a certification and the In-Vivo-Laboratory was the second laboratory after the Physical Measurements Laboratory for which an accreditation was successfully performed.

As per December 31, 2007 the Central Safety Department employed 202 scientific, technical, and administrative staff members, three Ph.D. students and 14 students for radiation protection respectively occupational safety engineers.

Technical and administrative Consulting and Licensing (HS-TBG)

The Technical and administrative Consulting and Licensing Unit has consulting, controlling, licensing and managing functions in the various fields such as industrial safety, biological safety, radiation protection, radioactive materials surveillance and accountancy, waste management, hazardous goods, and in-plant emergency protection. It verifies compliance with legal duties, conditions imposed by authorities, and other technical safety regulations in the institutes and departments of the Centre. These activities also include the centralised acquisition and documentation of safety related data, facts, and events.

The "Industrial Safety Group" has a controlling and consulting function in all areas of conventional health and safety. On the basis of work place analyses it suggests protective measures to the institutes and departments responsible for executing such regulations. It also records and reports accidents at work and appoints persons with special functions in the non-nuclear part of the safety organisation of the Centre.

The "Radiation Protection Group" appoints the Radiation Protection Officers and supports their activities as well as practical radiation protection work through providing information, consultancy, and contacts with authorities and monitors compliance with the Radiation Protection and the X ray Ordinance. It manages the computerised data files containing the data measured for occupationally radiation exposed personnel, and also manages the deadlines for radiation protection instructions and health physics examinations. It creates the preconditions for personnel of external companies to be allowed to work in controlled areas, and it fills in the radiation passports for staff members working in external facilities. It is also responsible for central bookkeeping and accountancy as well as surveillance of nuclear materials and radioactive substances at the Centre. It compiles all inventory change reports and prepares inspections and inventory verification exercises by Euratom. The group is also responsible for the central bookkeeping of former radioactive material which passed through the clearance procedure.

The "Environmental Protection Group" combines all officers responsible for waste, hazardous substances, environmental impacts, and protection of water. The main task of the officers is to give information, expert advise and to supervise environmental-related activities. Relevant information about environment and safety are hold in a databank which includes also material safety data sheets and information's around hazardous materials. The group controls, coordinates and balances the activity discharges into the atmosphere from all facilities on the prem-

ises of the Research Centre and determines the radiation exposure of the environment. The aim is to record the complete emission and immission and to verify the compliance with the maximum permissible value.

Supervision and Monitoring (HS-ÜM)

The Supervision and Monitoring Unit supports the Radiation Protection Officers responsible for protecting the persons handling radioactive substances or exposed to ionising radiation. In exercising these functions many staff members work in a decentralised way, being assigned to the institutes of the Centre. The members of the Radiation Protection Unit are liaisons to the members of institutes or departments in matters of radiation protection on site and provide information and recommendations.

The unit runs a laboratory for clearance measurements to perform nuclide specific analyses required for clearance of materials originating from decommissioning of nuclear facilities which can be reused without restrictions or disposed of as ordinary waste only if reference values of remaining radioactivity are underrated.

The "Work Place Monitoring Groups" are responsible for the distribution of the official dosimeters and for the evaluation of the working place dosimeters.. In accordance with a pre-set plan, routine contamination and dose rate checks are performed, and activity concentrations in the air of workrooms are monitored. The radiation protection staff organises decontamination whenever personnel are contaminated. The duties of the staff in these groups also include monitoring of materials transports from controlled areas into the surveillance areas of the Research Centre and out of the premises of the Centre. When applicable, they issue clearances for the reuse or disposal of materials. In addition to radiation measurements the tasks of the group are extended to measurements in the field of industrial health, such as noise, hazardous materials, non-ionizing radiation etc.

The accredited "Physical Measurements Laboratory" determines the activity concentrations in the wastewater at the installations, and decides whether these liquid effluents have to be decontaminated or can be passed direct to the sewage treatment plant. It also establishes balances of the activity discharges. Beyond that the Group is responsible for carrying out all spectrometric nuclide assays.

The "Chemical Analysis Group" conducts radiochemical examinations of environmental samples and of samples collected for purposes of liquid and gaseous effluent monitoring and of samples for the clearance measurement laboratory. For the determination of the radioactivity content in the air, water, ground, sediment, fish and agricultural products samples are collected at regular intervals and evaluated in the labs of the unit.

The group with the task "radiation measurement equipment" is responsible for repairing and calibrating all types of radiation protection measuring equipment. Other activities include acceptance checks of new equipment, tests of measuring gear new on the market, and the operation of irradiation facilities for calibration of dose rate and dose meters.

Keeping competence in radiation protection (HS-KES)

In cooperation with the Karlsruhe Scientific University and the Karlsruhe University of Cooperative Education and with the support of the Department of the Environment of the federal state of Baden-Wuerttemberg and the Federal Department of Education and Research some programmes for keeping competence in radiation protection are arranged in the Central Safety Department. Young scientists work under the guidance of experienced scientists and with the implementation of students, graduands and postgraduates in the following fields:

- Nuclear radiation measurement techniques und spectrometry
- Radiochemistry
- External dosimetry
- Biokinetics and in-vivo-diagnostics of radioactive substances in bodies and internal dosimetry and
- Natural occurring radiation exposition at working places, in living spaces and in the environment

In addition the unit runs the “in-vivo-laboratory” and the “radon-laboratory” and completes also routine work in nonofficial personal dosimetry and work place dosimetry.

The accredited “In-vivo-laboratory” runs human body counters and special partial body counters to determine nuclide depositions in the body. Procedures are applied to determine the equivalent dose in cases of internal exposure. These efforts are concentrated mainly on improving methods of detecting thorium, uranium, plutonium, and americium in the lungs, the liver, and the skeleton, and to make available metabolic models for interpretation of the measured results.

The “radon-laboratory” constructed passive radon-diffusion-chambers (radon-exposimeters) with damage track detectors to detect natural occurring radiation exposition caused by radon for the use in waterworks and for private clients. Usually the radon-laboratory executes the evaluation of the detectors, too.

Works Security Service (HS-WS)

The Security Unit is made up of the Works Security Service, the Technical Physical Protection Measures Group, and the Fire Brigade. The "Works Security Service" is responsible for all physical security measures on the whole area of the Research Centre; these duties are fulfilled by patrol and surveillance services and by access control at the main entrance gates. The Group also checks goods to be introduced into or removed from the Centre, monitors locks, and is responsible for overseeing road traffic on the premises of the Centre.

The " Technical Physical Protection Measures Group" is responsible for handling and issuing entry permits, and for choosing, installing and keeping in working order technical security systems.

One shift of the "Fire Brigade" is permanently ready for action on the premises of the Centre. Its duty comprises fire fighting, preventive fire protection, and technical assistance in many ways, and also the inspection, repair and maintenance of all respiration protection gear used at the Centre. The " Fire Brigade " provides the Task Force Leader for the safety organisation of the Centre "around the clock", elaborates and updates assignment documents, conducts drills of the task forces, and writes reports about assignments.

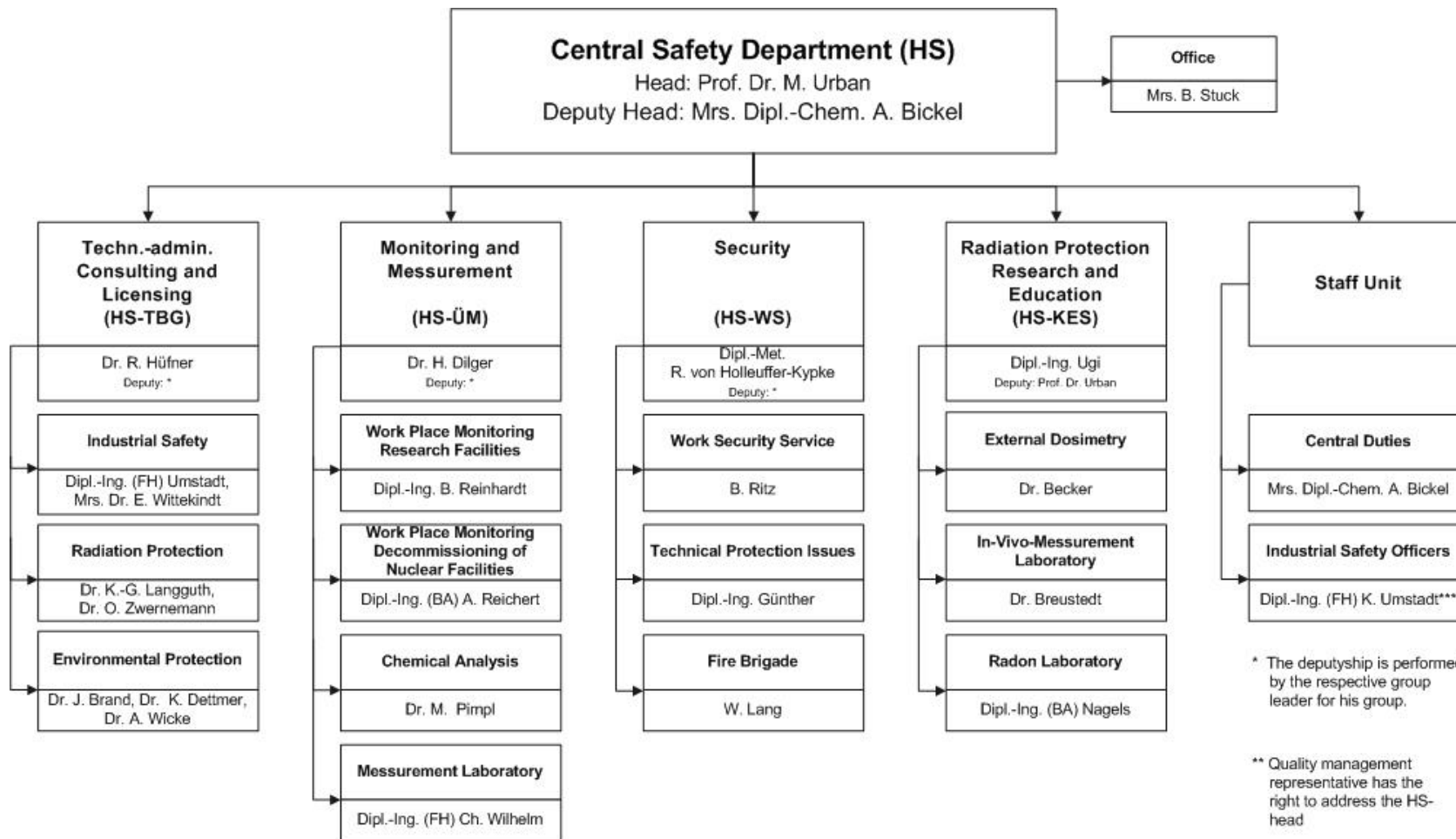
Staff unit “central duties“ (HS-ZA)

The staff position „central duties“ is responsible for the implementation and coordination of supporting tasks within the Central Safety Department.

Main duties are the operation and the further development of the data processing of the Central Safety Department and the coordination of supporting tasks concerning the different compartments. Furthermore the quality management system (QMS) of the Central Safety Department was established within this unit and enhanced. The QMS supported significantly the realisation of the accreditations in 2007 and the certification of the Central Safety Department.

Staff unit “Specialists in occupational safety” (StFA)

To observe the German Occupational Safety laws the staff position “Specialists in occupational safety” was built. The four specialists in occupational safety assist the employer in everything concerning occupational safety and prevention of accidents and in the setup of human working environments.



* The deputyship is performed by the respective group leader for his group.

** Quality management representative has the right to address the HS-head

*** In his position as leading industrial safety officer directly responsible to the board of Directors.

2 Genehmigungsverfahren

K. Dettmer, R. Hübner, E. Wittekindt, O. Zwernemann

Ein nicht unerheblicher Teil der Forschungsaktivitäten unseres Zentrums bedarf der Genehmigung oder unterliegt zumindest der Aufsicht staatlicher Behörden. Gleiches gilt für die Durchführung vieler Aufgaben aus dem Bereich der Infrastruktur, die die Erfüllung des Forschungsauftrages des Zentrums erst ermöglichen.

Die Arbeit bei der Abwicklung von Genehmigungsverfahren ist durch eine enge Kooperation mit den im jeweiligen Verfahren betroffenen Organisationseinheiten des Forschungszentrums gekennzeichnet. Im Arbeitsablauf selbst gibt es dabei nur wenige rechtsspezifische Besonderheiten, so dass die Aufgaben weitgehend pauschal dargestellt werden können. Wesentliche Punkte sind:

- die Prüfung neuer Vorhaben oder Änderungen in der Nutzung bestehender Anlagen auf ihre genehmigungsrechtliche Erheblichkeit
- die Abstimmung des Antragsumfangs und des Terminplanes zur Abwicklung des Genehmigungsverfahrens
- die Koordinierung der Erstellung der Antragsunterlagen in enger Zusammenarbeit mit den betroffenen Organisationseinheiten
- die Vorprüfung und Verfolgung von Gutachteraufträgen
- die inhaltliche Prüfung von Gutachten und Behördenbescheiden
- die Abgabe förmlicher Willenserklärungen (Anträge, Rechtsmittel) unter Mitzeichnung durch die Hauptabteilung Recht und Versicherungen (RA)
- die Abgabe von Änderungsanzeigen sowie von Informationen zu technischen Aktualisierungen bei bestehenden Genehmigungen
- die Terminüberwachung bei zeitlich befristeten Genehmigungen und Zulassungen.

Der zeitliche Verlauf von Genehmigungsverfahren kann sich von wenigen Tagen bis zu mehreren Jahren hinziehen. Dementsprechend unterschiedlich ist auch der administrative Aufwand bei der Abwicklung, aber auch bei der Betreuung von Genehmigungen nach ihrer Erteilung.

In der Tab. 2-1 sind die dem Forschungszentrum Karlsruhe erteilten Genehmigungen und Zulassungen zusammengefasst, die am Jahresende 2007 Gültigkeit besaßen.

Neben den zum Tagesgeschäft zählenden Anpassungen, Erweiterungen und Aktualisierungen bestehender Genehmigungen wurden einige besonders zu erwähnende Vorgänge bearbeitet.

Wie bereits in den vergangenen Jahren machten die Freigaberegeln nach § 29 der Strahlenschutzverordnung einen großen Anteil der atomrechtlichen Genehmigungen aus. Die Bedeutung wird auch aus der Tatsache deutlich, dass 2007 mehr als 250 Chargen unterschiedlichster Reststoffe die Freigabe nach § 29 durchliefen. Für die Stoffströme Betonbruch, Bauschutt, Straßenaufbruch und Bodenaushub, sowie Mischungen dieser Stoffe, die beim Rückbau ehemaliger Strahlenschutzbereiche anfallen, wurde ein standardisierter Freigabebescheid zur Beseitigung erwirkt. Stoffströme, die nach diesem Freigabebescheid freigegeben werden, müssen auf eine der in diesem Bescheid genannten Deponien verbracht werden, dafür können die Freigabewerte zur Beseitigung zu Grunde gelegt werden.. Die bei der Freigabe zur Beseitigung erforderliche wiederholte Abstimmung der atomrechtlichen und der abfallrechtlichen Aufsichtsbehörden untereinander erwies sich als optimierungsbedürftig.

Für das Tritiumlabor konnte das 2005 begonnene Verfahren zur Anpassung der Umgangsgenehmigungen abgeschlossen werden. Die bisher erteilten vier Umgangsgenehmigungen wurden durch eine neue Genehmigung ersetzt, die auch bereits die in den kommenden Jahren erforderli-

chen Änderungen für den Betrieb des Karlsruhe Tritium Neutrino Experiments (KATRIN) im Tritiumlabor mit abdeckt.

Während die bisherigen Genehmigungen den Routineablauf im Tritiumlabor in starker Anlehnung an eine kerntechnische Anlage behandelten, ist die neue Genehmigung auch inhaltlich für ein Isotopenlabor nach § 7 Strahlenschutzverordnung ausgelegt. Dadurch ergeben sich langfristig für die Implementierung neuer Experimente und Versuchsaufbauten enorme Zeit- und Kosteneinsparungen.

Das Institut für Meteorologie und Klimaforschung Bereich Atmosphärische Aerosolforschung (IMK-AAF) des Forschungszentrums wollte im Rahmen einer Kooperation mit dem Institut für Kolbenmaschinenforschung der Universität Karlsruhe ein genehmigungspflichtiges radioaktives Präparat auf dem Gelände der Universität Karlsruhe betreiben. Da die Universität für den betroffenen Bereich keine Umgangsgenehmigung besaß, wurde in Abstimmung mit den betroffenen Instituten, dem Strahlenschutzbevollmächtigten der Universität Karlsruhe und der Aufsichtsbehörde eine zeitlich auf das Projekt befristete Erweiterung der Umgangsgenehmigung des IMK-AAF auf den betroffenen Bereich der Universität erwirkt.

Die pragmatische Lösung dieses Einzelfalls im Vorgriff auf die Vereinigung von Forschungszentrum und Universität Karlsruhe zum KIT bereitete keine größeren Probleme. Es ist allerdings aktuell nicht abzuschätzen, welcher Aufwand durch die Gründung des KIT im Genehmigungsbe- reich erforderlich wird, da die Frage der Rechtsnachfolge noch nicht abschließend geklärt ist.

In 2007 wurden für weitere genehmigungspflichtige Vorhaben mit Bezug zum Gentechnik-, Tier- und Infektionsschutzgesetz Genehmigungen bzw. Erlaubnisse erwirkt. Das ITC-WGT richtete einen Laborkomplex ein, der als weitere S1-Anlage für gentechnische Arbeiten genehmigt wurde. In diesem Bereich werden ferner biotechnologische Arbeiten zur Synthese von Rhamnolipiden (biologisch abbaubare Tenside) durchgeführt. Hierzu wird die RG 2-Spezies *Pseudomonas spec.* verwendet, die pflanzliche Öle zu Rhamnolipiden umsetzen kann. Zur Durchführung dieser Biofermentertechnologie wurde vom Regierungspräsidium Karlsruhe eine BSL-2 Anlage gemäß §44 IfSG zum Umgang mit infektiösen Erregern genehmigt.

Eine weitere Genehmigung wurde für das ITG zum Betrieb einer neuen gentechnische Anlagen der Sicherheitsstufe erwirkt, in der eine sogenannte Modular High Content Screening Plattform zur Verfügung steht. Diese Technik erlaubt beispielsweise die Automatisierung von Fluoreszenzaufnahmen von Zellen und damit das Screening im Hochdurchsatz für kinetische Untersuchungen unterschiedlicher molekularbiologischer Fragestellung an Zellkulturen, aber auch an Fischzellen.

Ferner wurde in 2007 für das ITG eine weitere S2-Arbeit angezeigt, in der mittels shRNA (small hairpin RNA) die Expression eines Gens unterdrückt werden soll, das möglicherweise bei der Metastasierung von Tumoren eine Rolle spielt. Die Effektivität der Expressionshemmung und deren Einfluss auf die Metastasierung soll am Tiermodell evaluiert werden.

Auch bei den bereits bestehenden gentechnischen Anlagen war aufgrund räumlicher, organisatorischer und personeller Änderungen eine umfangreiche Aktualisierung der bei der Behörde vorliegenden Anmeldeunterlagen erforderlich.

Die für das Forschungszentrum im Zusammenhang mit dem Gentechnik- und dem Infektionsschutzgesetz in 2007 erwirkten Genehmigungen erforderten einen komplexen administrativen Aufwand in der Planungsphase. Dieser ergab sich aus der jeweiligen wissenschaftlichen Fragestellungen sowie der dabei anzuwendenden Verfahren und den aktuellen baulichen Voraussetzungen vor Ort. Hier mussten sicherheitstechnische Auflagen und spezifizierte Arbeitsabläufe berücksichtigt bzw. umgesetzt werden, die zum Teil von den zuständigen Überwachungsbehörden in Form von Nebenbestimmungen zum Genehmigungsbescheid konkretisiert wurden.

Am Im IHM soll eine neue S1-Anlage zur Untersuchung der Fragestellung „Physiologische Effekte gepulster elektrischer Felder auf Pflanzenzellen“ eingerichtet werden. Für diese neue Anlage wurde 2007 der Genehmigungsantrag weitgehend vorbereitet, genau so wie für die Aufrüstung einer bestehenden S1-Anlage des IBG II. Hier ist geplant, eine gentechnische Anlage der Sicherheitsstufe 2 zur Arbeit mit transgenen Organismen der Risikogruppe 2 anzumelden und den Betrieb einer BSL-2 Anlage gemäß § 44 IfSG anzuzeigen. Das IBG II wird in der künftigen Anlage Wirksamkeitsprüfungen für verschiedene synthetische kationische antimikrobielle Peptide (CAPs) durchführen. Die Peptide sollen den Anforderungen an ein Standardantibiotikum bezüglich einer geringen Toxizität bei hoher Sensitivität bzw. niedriger Minimal Inhibitory Concentration (MIC) genügen. Die Peptidvarianten sollen weiterhin möglichst auf ein breites Spektrum klinisch relevanter gramnegativer und grampositiver Risikogruppe 2-Erreger anwendbar sein. Die Zustimmung der Genehmigungsbehörden zur Durchführung des Vorhabens wird für das zweite Quartal 2008 erwartet.

Vom Regierungspräsidium Karlsruhe wurden in 2007 drei weitere Tierversuchsvorhaben im Kontext der Grundlagen- und Tumorforschung genehmigt. In diesem Rahmen wurden für mehrere Mitarbeiter Ausnahmegenehmigungen gemäß § 9 TierSchG zur Durchführung von Tierversuchen erwirkt und entsprechende Meldungen zu den an den Tierversuchen beteiligten Personen aktualisiert. Ein im Jahre 2006 abgelehntes Tierversuchsvorhaben wurde auf Anraten der Tierschutzethikkommission spezifiziert und in dieser Form als Neuantrag genehmigt. Des Weiteren wurde eine Genehmigung zur Verwendung von Mäusen und Ratten für Experimente im Rahmen der Aus- Fort- und Weiterbildung gemäß § 10 TierSchG erworben. Im Rahmen eines Praktikums können nun Auszubildende am ITG verschiedene Applikations- und Blutentnahmetechniken an Mäusen und Ratten erlernen.

Ebenfalls in den Bereich des Tierschutzes fallen die Erweiterung der Tierhaltungseinrichtungen, sowie die Halterung neuer Tierspezies in der Fischhaltung (Medaka) am ITG. Hierzu wurde ein weiterer Fischhaltungsraum eingerichtet und die Genehmigungsverfahren gemäß GenTG und TierSchG hierzu abgewickelt.

Für die Tierhausleitung wurde ferner eine Genehmigung zur Führung einer tierärztlichen Hausapotheke zur Bevorratung von Schmerz- und Narkosemitteln zu Forschungszwecken beim Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte erwirkt (§ 3 BtMG; Erlaubnis zum Verkehr mit Betäubungsmitteln).

Mit dem Bau einer neuen Fischhaltungsanlage wurde in 2007 begonnen, diese soll in 2008 als neue S1-Anlage genehmigt werden.

Eine Erleichterung beim Betrieb und der Emissionsüberwachung des von BTI betriebenen Fernheizwerks sowie des Blockheizkraftwerks wurde beantragt. Durch Begrenzung der Gesamtfeuerungswärmeleistung sowie der Restlaufzeit der Gasturbine sollen die Anlagen nicht mehr der Kategorie der Großfeuerungsanlagen zugerechnet werden. Sie sollen nur noch den moderateren Regelungen der 1. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (1.BImSchV, VO zu kleinen und mittleren Feuerungsanlagen) bzw. der TA-Luft unterworfen werden.

Bei der vorbereitenden Planung zum Aufbau einer Versuchsanlage nach dem Bioliq-Verfahren folgte die Überwachungsbehörde der Argumentation des Forschungszentrums, dass für diese Versuchsanlage die Privilegien des § 1 Abs. 6 der 4. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz gelten und somit keine eigenständige Immissionsschutzgenehmigung erforderlich ist. Trotzdem waren im Rahmen der Baugenehmigung verschiedene immissionsschutzrechtliche Aspekte zu betrachten und entsprechende Unterlagen zu erstellen, insbesondere für den Bau und den Betrieb der „Fackeln“, mit deren Hilfe nicht genutzte Pyrolyse- und Synthesegase verbrannt werden sollen.

Neben den zum Standard gewordenen alltäglichen Genehmigungsfragen standen auch seltenere Vorgänge zur Bearbeitung an. So wurde beispielsweise im Berichtsjahr die Fachbetriebszulassung für BTI zur Herstellung von Stahlbauten, der so genannte „Große Nachweis“, erneut zugeteilt.

Institut/ Abteilung	AtG		StrlSchV					RöV		BlmSchG		WHG	GenTG	IfSG	TierSchG				Fach-
	§ 7	§ 9	§ 7	§ 11	§ 15	§ 29	§ 117						§ 11	§ 44	§ 7	§ 9	§§ 6,10	§ 11	betriebe
	Genehmig.	Genehmig.	Genehmig.	Genehmig.	Genehmig.	Genehmig.	Anzeige.	Genehmig.	Anzeige	Genehmig.	Anzeige	Genehmig.	angemeldete Bereiche	angemeldete Bereiche	Genehmig.	Ausnahme- genehmig.	Anzeige	Genehmig.	Zulassung
BTI	1		4			1		1	1	3		4							3
FTU			1					2					1						
FZK		3			1	2													
HDB			1							1									
HS		1						2											
IFP			1					4	2										
IHM								3	2										
IK			3	3					1										
IBG													2		1		1		
IMF		1	1					8	6										
IMK			4				4						1						
IMT								2											
INE		1						1	2										
INT			2					4	6										
ISS			1	1															
ITC			5					3	4	3	1		2	2					
ITG			3										7		7	21	3	1	
ITP			2						2										
MED			1																
MZFR			3			1													

Tab. 2-1: Genehmigungen und Anzeigen der Institute und Abteilungen des Forschungszentrums Karlsruhe, Stand Dez. 2007, ausgenommen sind die Genehmigungen nach §§ 7 und 9 AtG, die vom Geschäftsbereich Stilllegung selbst betreut werden

3 Arbeitssicherheit

K. Umstadt

3.1 Organisation und Aufgaben der Gruppe konventionelle Arbeitssicherheit

Hauptaufgabe des Arbeitsschutzes ist es, Gefährdungen und Schädigungen der Beschäftigten vorsorgend zu verhüten, abzuwehren oder soweit wie möglich zu vermindern, mit dem Ziel, Arbeitssicherheit zu erreichen. Dabei stehen im Mittelpunkt Maßnahmen zur Erhöhung der Arbeitssicherheit und zur Verhütung arbeitsbedingter Gesundheitsgefahren, von Arbeits- und Wegeunfällen sowie von Berufskrankheiten.

Das Forschungszentrum Karlsruhe trägt als Arbeitgeber die Verantwortung für die Sicherheit und den Schutz der Gesundheit seiner Mitarbeiter. Damit obliegt ihm die Führungsaufgabe, gesundheitsbewahrende Arbeitsverhältnisse und sichere Einrichtungen zu schaffen, den bestimmungsgemäßen Umgang mit ihnen und das Zusammenwirken aller Mitarbeiter entsprechend zu organisieren und sicherzustellen. Dieser Aufgabe wird das Forschungszentrum u. a. dadurch gerecht, dass es nach Maßgabe des Arbeitssicherheitsgesetzes Betriebsärzte und Fachkräfte für Arbeitssicherheit bestellt hat.

Die Fachkräfte für Arbeitssicherheit gehören organisatorisch der Stabsstelle „Fachkräfte für Arbeitssicherheit“ innerhalb der Hauptabteilung Sicherheit an und haben die Aufgabe, die einzelnen Organisationseinheiten beim Arbeitsschutz, bei der Unfallverhütung und in allen Fragen zur Arbeitssicherheit einschließlich Maßnahmen der menschengerechten Gestaltung der Arbeit zu unterstützen. Dazu führen sie regelmäßig Begehungen in den Instituten durch.

3.2 Unfallgeschehen

Nach § 193 des Sozialgesetzbuches VII hat der Unternehmer Unfälle von Versicherten in seinem Unternehmen dem Unfallversicherungsträger anzuzeigen, wenn Versicherte getötet oder so verletzt sind, dass sie mehr als drei Tage arbeitsunfähig werden. Darüber hinaus werden aus grundsätzlichen Erwägungen auch Unfälle von Beschäftigten des Forschungszentrums, bei denen ärztliche Hilfe außerhalb des Zentrums in Anspruch genommen wird, dem zuständigen Unfallversicherungsträger angezeigt.

Für das Jahr 2007 wurden insgesamt 76 Arbeitsunfälle an den Unfallversicherer gemeldet. Davon waren 41 Unfälle anzeigepflichtig (Betriebsunfälle: 30, Wegeunfälle: 10, Sportunfälle: 1).

Einen Überblick über Art der Verletzungen und verletzte Körperteile gibt Tab. 3-1. Im Gegensatz zur gewerblichen Wirtschaft, wo die Zahl der meldepflichtigen Arbeit- und Wegeunfälle im Jahre 2006 leicht gestiegen ist, hat sich die Summe der anzeigepflichtigen Unfälle im Forschungszentrum gegenüber dem Vorjahr verringert. Die Gesamtzahl der gemeldeten Unfälle ist dagegen leicht nach oben gegangen. Betrachtet man die anzeigepflichtigen Unfälle differenziert nach Betriebs- und Wegeunfällen, ist festzustellen, dass sich die Anzahl der Betriebsunfälle von 27 im Jahre 2006 auf 30 im Jahre 2007 erhöht hat. Hiervon sind allerdings 6 Unfälle durch den innerbetrieblichen Verkehr verursacht worden. Betrachtet man die Unfälle nach der Art der Verletzungen und der verletzten Körperteile, so sind Wund-, Riss- und Schnittverletzungen an den Händen die häufigsten Schäden. Eine ähnlich hohe Zahl von Verletzungen zeigt sich im Bereich der Stolper- und Sturzunfälle durch Prellungen und Verstauchungen an Beinen und Knien.

Die Zahl der Wegeunfälle hat von 17 im letzten Jahr auf 10 im Jahre 2007 abgenommen.

Die Wegeunfälle unterscheiden sich in vieler Hinsicht von den Arbeitsunfällen im Betrieb. Da sie auf dem Weg zwischen Wohnung und Arbeitsplatz, also außerhalb des Betriebes geschehen, sind sie den Unfallverhütungsmaßnahmen der Betriebe und der Berufsgenossenschaften auch schwer zugänglich.

verletzte Körperteile	Jahr		Art der Verletzung	Jahr	
	2006	2007		2006	2007
Kopf	9	9	Prellungen, Quetschungen	15	13
Augen	2	6	Verstauchungen	4	3
Rumpf	6	4	Zerrungen, Verrenkungen	5	6
Beine, Knie	12	17	Wunde, Riss	11	10
Füße, Zehen	4	8	Knochenbruch	8	3
Arme	6	4	Verbrennungen, Verätzungen	2	1
Hände, Finger	14	14	Schnitte	10	8
Wirbel	4	2	Sonstige	0	3

Tab. 3-1: Art der Verletzungen und der verletzten Körperteile bei den Betriebsunfällen

Zur Beurteilung des durchschnittlichen Unfallrisikos eines Versicherten müssen die absoluten Unfallzahlen zu geeigneten Bezugsgrößen ins Verhältnis gesetzt und damit Unfallquoten gebildet werden. Bei der Darstellung der Häufigkeit der Arbeitsunfälle je 1 000 Mitarbeiter werden die Unfallzahlen verschiedener Unternehmen vergleichbar. Für das Forschungszentrum mit ca. 3 600 Mitarbeitern ergeben sich die in Tab. 3-2 dargestellten Zahlen.

Art der Unfälle	Zahl der meldepflichtigen Unfälle je 1 000 Beschäftigte	
	Forschungszentrum Karlsruhe 2007	gewerbliche Wirtschaft 2006*
meldepflichtige Betriebs- u. Sportunfälle	8,6	27,6
meldepflichtige Wegeunfälle	2,8	4,6

* Daten von 2007 liegen noch nicht vor.

Tab. 3-2: Unfälle im Forschungszentrum Karlsruhe 2007 im Vergleich zur gesamten gewerblichen Wirtschaft

3.3 Arbeitsplatzüberwachungen

Nach § 5 Arbeitsschutzgesetz hat der Arbeitgeber durch eine Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdung zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind. Bei gleichartigen Arbeitsbedingungen ist die Beurteilung eines Arbeitsplatzes oder einer Tätigkeit ausreichend. Eine Gefährdung kann sich insbesondere ergeben durch

- die Gestaltung und die Einrichtung der Arbeitsstätte und des Arbeitsplatzes
- physikalische, chemische und biologische Einwirkungen
- die Gestaltung, die Auswahl und den Einsatz von Arbeitsmitteln, insbesondere von Arbeitsstoffen, Maschinen, Geräten und Anlagen sowie den Umgang damit.

Die Arbeitsplatzüberwachungen dienen dazu, konkrete Belastungen einzelner Mitarbeiter oder Gruppen zu erfassen und die Einhaltung gesetzlicher Regelungen nachzuweisen. Hierzu ist es notwendig, durch Messungen Ergebnisse zu erhalten, welche die Basis für eventuell durchzuführende Maßnahmen bilden.

Die gebräuchlichsten Messungen (Lärm, Klima, Beleuchtung) werden von Mitarbeitern der Abteilung Überwachung und Messtechnik mit den entsprechenden Messgeräten durchgeführt. Die Anforderung zur Durchführung einer Messung erhalten sie von den Organisationseinheiten oder der zuständigen Fachkraft für Arbeitssicherheit. Das Messergebnis wird von der zuständigen Fachkraft beurteilt. Daraus resultierende Empfehlungen werden dem Institutsleiter mitgeteilt. Die Notwendigkeit der Durchführung von Messungen zur Arbeitsplatzüberwachung wird entweder bei Betriebsbegehungen festgestellt, oder aufgrund von Anfragen der Mitarbeiter oder der Betriebsärzte festgelegt.

Sind spezielle Arbeitsplatzanalysen erforderlich, so werden amtlich anerkannte Messstellen oder unsere Unfallkasse mit der Durchführung beauftragt.

3.4 Arbeitsschutzausschuss

Nach § 11 des Arbeitssicherheitsgesetzes hat das Forschungszentrum als Arbeitgeber einen Arbeitsschutzausschuss (ASA) zu bilden. Die personelle Zusammensetzung und die Aufgaben des Arbeitsschutzausschusses sind im Arbeitssicherheitsgesetz geregelt. Neben den ständigen Tagesordnungspunkten wie Berichte der Betriebsärzte und der Fachkräfte für Arbeitssicherheit wurden sicherheitsrelevante Arbeitsunfälle besprochen. Weitere Schwerpunkte während des Berichtszeitraumes waren:

- Innerbetrieblicher Straßenverkehr
Aufgrund der relativ vielen Unfälle im innerbetrieblichen Straßenverkehr wurde eine Statistik erstellt, die die Unfallorte und die Unfallbeteiligten (Fußgänger, Radfahrer, PKW, LKW usw.) hervorhebt. Es hat sich hierbei gezeigt, dass häufig Radfahrer in Unfälle verwickelt sind und die Unfallstellen sich auf Straßenverengungen (z.B. Kreisel) oder unübersichtliche Kreuzungen konzentrieren. Innerhalb des Ausschusses wurden Maßnahmen zur Verringerung dieser Unfälle diskutiert.
- Kleiderordnung
Die Kleiderordnung der Forschungszentrums Karlsruhe entspricht nicht mehr dem Stand der Technik und muss überarbeitet werden. Hierzu wurde Ende des Jahres im ASA ein Ausschuss gebildet. Diesem Gremium gehören neben einer Fachkraft für Arbeitssicherheit und einem Arbeitsmediziner auch je ein Vertreter des Betriebsrates und des Einkaufs an. Um den besonderen Belangen des Strahlenschutzes und den Arbeiten in Laboratorien gerecht zu werden, wurde aus diesen Bereichen ebenfalls je ein Vertreter in den Ausschuss berufen.
- Nichtraucherchutz
Aufgrund des am 01. August 2007 in Kraft getretenen Landesnichtraucherschutzgesetzes wurde im ASA diskutiert, wie man dieses Gesetz in Verbindung mit dem Nichtraucherchutz gem. § 5 der Arbeitsstättenverordnung, innerhalb des Zentrums sinnvoll umsetzen kann. Da bereits in vielen Instituten vernünftige Lösungen getroffen worden sind, sahen die ASA-Mitglieder keine Notwendigkeit, eine zentrumsweite Regelung zu empfehlen. Trotzdem wurden die Fachkräfte für Arbeitssicherheit und die Betriebsärzte aufgefordert, bei den Begehungen die Umsetzung der Arbeitsstättenverordnung bezüglich des Nichtraucherchutzes zu hinterfragen.

3.5 Arbeitssicherheitsmanagementsystem

Am 10.04.2007 wurde das Arbeitsschutzmanagementsystem der Hauptabteilung Sicherheit von der Verwaltungsberufsgenossenschaft (VBG) begutachtet (siehe Kap. 10). Die Begutachtung erfolgte auf Basis des AMS-Dienstleisters und somit des NLF / ILO-OSH 2001. Die zwei ausgesprochenen Empfehlungen wurden bewertet, können aber unter den im Forschungszentrum vorherrschenden Bedingungen nicht in die Praxis umgesetzt werden.

Die Verwaltungsberufsgenossenschaft bescheinigt der Hauptabteilung Sicherheit die Erfüllung der Anforderung an ein systematisches und wirksames Arbeitsschutzmanagementsystem. Damit ist die Hauptabteilung Sicherheit nach dem ITP die zweite Organisationseinheit des Forschungszentrums Karlsruhe, die ein wirksames Arbeitsschutzmanagementsystem eingeführt hat. Die Bescheinigung ist gültig bis zum 31.05.2010.

3.6 Umgang mit Gefahrstoffen

K. Dettmer, P. Kraft

Aufgrund der Verwendung von Gefahrstoffen sind im Forschungszentrum eine Vielzahl chemikalienrechtlicher Unternehmerpflichten zu erfüllen. Hierbei übernimmt die HS einige zentrale Aufgaben. Sie betreffen beispielsweise die Information der Beschäftigten über gefährliche Eigenschaften von Stoffen und die daraus resultierenden Schutzmaßnahmen sowie die Führung und Administration des vorgeschriebenen Gefahrstoffverzeichnisses für das gesamte Unternehmen.

Die Realisierung des Gefahrstoffverzeichnisses erfolgt im Forschungszentrum mit Hilfe eines zentralen Datenbankprogramms, das von allen Organisationseinheiten über das Intranet bedient werden kann. Es unterstützt die Beschäftigten bei der Bestandsführung und nutzt alle Daten, die bei der Bestellung von Gefahrstoffen ohnehin benötigt werden, um daraus mit möglichst geringem zusätzlichem Aufwand das Verzeichnis aufzubauen. Das Programm mit dem Namen ChemieAssistent (abgekürzt: ChemA, vergl. Abb. 3-1) bietet die Möglichkeit, Gefahrstoffe direkt im Rahmen der Beschaffung zu registrieren. Bestellte Stoffe werden datentechnisch mit Informationen über ihre gefährlichen Eigenschaften sowie mit Angaben über den Ort ihrer Lagerung oder Handhabung verknüpft.

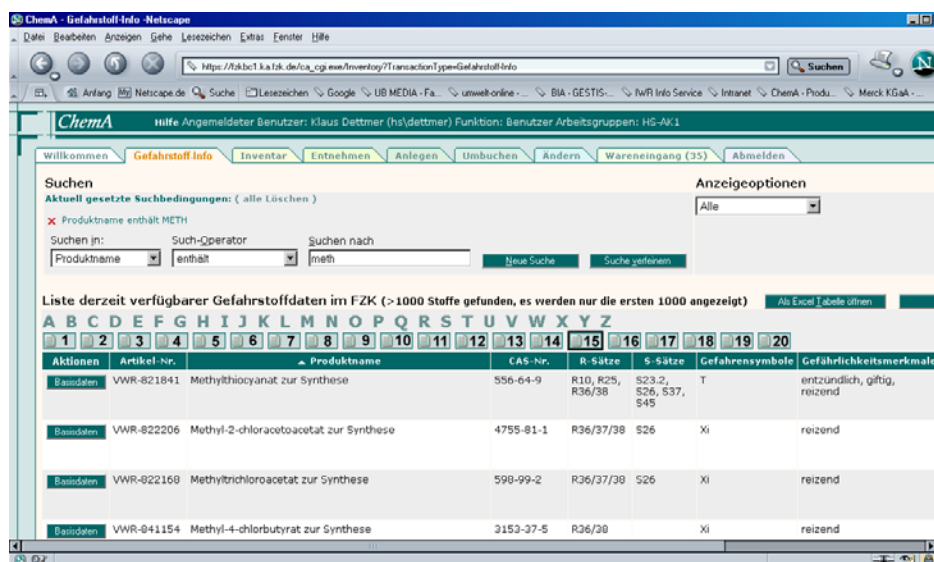


Abb. 3-1: Der ChemieAssistent, das Gefahrstoffverzeichnis des Forschungszentrums – intuitiv nutzbare Bedienoberfläche

Das Datenbankprogramm arbeitet direkt mit dem im Bestellwesen des Forschungszentrums verwendeten Katalogsystem, dem Supplier Relationship Management (SRM) zusammen, das auf der Plattform SAP R/3 aufsetzt. Der Vorteil dieses Bestellsystems besteht darin, dass eine Bestellung dezentral ausgelöst und das benötigte Produkt direkt im Katalog des Lieferanten selektiert werden kann. Im Hinblick auf die Umsetzung der Gefahrstoffverordnung bedeutet dies, dass sich eine große Auswahl an Stoffen unmittelbar beim Bestellvorgang mit den für das Verzeichnis erforderlichen Daten elektronisch verbinden lässt, da sie durch die Selektion im Katalog eindeu-

tig identifiziert sind. Die Stoffinformationen können sowohl bei der Bestellung, als auch zu jedem späteren Zeitpunkt datentechnisch mit der Information über den Verwendungsort des Gefahrstoffs verknüpft werden.

Die Sicherheitsdatenblätter sowie ausgewählte einzelne Sicherheitsdatenfelder für den Aufbau des Gefahrstoffverzeichnisses führt die HS ebenfalls in der Datenbank. Der Datenpool speist sich aus den Informationen der Hersteller und Vertreiber der eingekauften Stoffe und wird ständig aktualisiert und erweitert. Er enthält mehr als 14 000 Datensätze. Sämtliche Daten einschließlich eingescannter Original-Sicherheitsdatenblätter lassen sich über das Intranet des Forschungszentrums zentral und von jedem Institut aus zur allgemeinen Information sowie zur Erstellung von gefahrstoff- und arbeitsplatzbezogenen Betriebsanweisungen abrufen. Da ein Großteil der Sicherheitsdaten direkt vom Hauptlieferanten für das Forschungszentrum übernommen werden kann, konzentriert sich die von HS zu leistende Aktualisierungsarbeit auf die Datensätze, die für die vorhandenen und neu bestellten Stoffe anderer Hersteller erforderlich sind. Sie lassen sich auf diese Weise mit angemessenem Aufwand zuverlässig aktuell halten.

Neben der Übernahme relevanter Daten im Rahmen von Neubestellungen unterstützt das Datenbanksystem ChemA die dezentrale Erfassung der vorhandenen Gefahrstoffe und bietet seit dem Berichtsjahr auch eine zentrumsweite Chemikalienbörse. Hier können auf dem Zentrums Gelände vorhandene Bestände von autorisierten, im System eingetragenen Personen recherchiert werden. Ein kurzfristiger Bedarf an bestimmten Stoffen lässt sich mit Hilfe des Systems in zahlreichen Fällen einfach und kostenneutral aus dem Bestand einer anderen Organisationseinheit decken.

Im Berichtsjahr waren mehr als 500 Nutzende in den für das Gefahrstoffverzeichnis relevanten Organisationseinheiten im System registriert. Mehr als 18 000 Bestandspositionen gaben Aufschluss über die Lagerungs- und Verwendungsorte der Chemikalien. Die vorhandenen Gefährdungspotentiale können von unterschiedlichen Stellen der Sicherheitsorganisation (Arbeitssicherheit, Werkfeuerwehr, Arbeitsmedizin) eingesehen und ausgewertet werden.

Im Rahmen der Administration des Gefahrstoffverzeichnisses wurde auch die Erstellung von Gebindekennzeichnungen für den Umgang (Gefahrstoffetiketten) sowie von schriftlichen Weisungen für Fahrzeugführer beim Gefahrguttransport (Unfallmerkblätter) als zentrale Dienstleistung angeboten.

3.7 Wiederkehrende Prüfungen

K. Dettmer

Um die technische Betriebssicherheit zu gewährleisten, müssen eine Vielzahl von Anlagen, Anlagenteilen, Maschinen, Betriebsmitteln und Gegenständen in regelmäßigen Zeitintervallen wiederkehrend geprüft werden. Das Prüferfordernis kann sich beispielsweise aus Rechtsnormen, Unfallverhütungsvorschriften oder auch unmittelbar aus Genehmigungsaufgaben ergeben. Durch die Betriebssicherheitsverordnung eröffnet sich zudem die Möglichkeit, dass Intervalle für wiederkehrende Prüfungen teilweise im Rahmen von Gefährdungsanalysen vom Betreiber selbst festgelegt werden.

Wiederkehrende Prüfungen erfolgen in allen Organisationseinheiten des Zentrums. Von den zentralen Aufgaben übernimmt der Bereich Technische Infrastruktur die Datenhaltung zu den wiederkehrend prüfpflichtigen Objekten sowie die Terminsteuerung der Prüfungen. Die Kontrolle sowie das Mahnwesen obliegt der Hauptabteilung Sicherheit. Die Daten zur Identifikation der Prüfobjekte und zum Anstoß der Prüfungen werden in dem SAP-Modul RM-INST geführt, das auch für die Steuerung der Wartung und Instandhaltung infrastruktureller Anlagen zum Einsatz kommt.

Das Datenbank-System sichert die Einhaltung der vorgeschriebenen Prüfintervalle sowie die Terminsteuerung und erleichtert die Nachweisführung gegenüber den Behörden. Zur Terminie-

nung und Dokumentation der Prüfungen werden Prüfnachweise erstellt und an die verantwortlichen Organisationseinheiten gesendet. Diese erhalten außerdem jährlich Prüfkalender und werden bei Bedarf monatlich auf überfällige Prüftermine hingewiesen.

In der Abb. 3-2 sind die neue Aufgabenverteilung sowie der Informationsfluss bei der Durchführung von wiederkehrenden Prüfungen dargestellt.

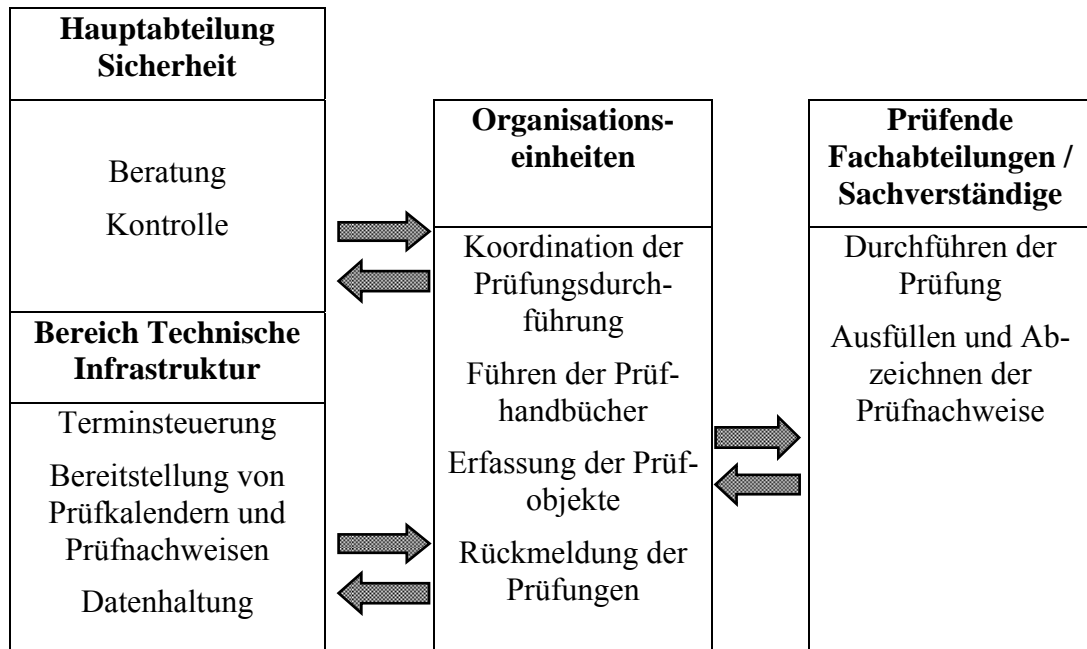


Abb. 3-2: Wiederkehrende Prüfungen – Aufgabenverteilung und Informationsfluss

Zusätzlich zu den Dokumenten, die mit Hilfe des Systems in Papierform erstellt und über den Postweg verteilt werden können, bestehen eine Vielzahl von direkten Auswertungsmöglichkeiten der Datenbank auf elektronischem Wege. Diese Dienste lassen sich dezentral nutzen und ermöglichen Personen, die in den Organisationseinheiten für die Wiederkehrenden Prüfungen zuständig sind, eine schnelle und zuverlässige Information über anstehende Prüftermine.

Im Berichtsjahr konnte der Routinebetrieb des Systems ohne wesentliche Probleme aufrechterhalten werden.

4 Biologische Sicherheitsbereiche

E. Wittekindt

Organisationseinheiten des Forschungszentrums, in denen biologische Sicherheitsbereiche (Gentechnische Anlagen, Tierhaltungsanlagen, Infektionsschutz-Laboratorien) betrieben werden oder geplant sind, werden hinsichtlich der Erfüllung gesetzlicher Voraussetzungen und Aufgaben von der Hauptabteilung Sicherheit, Abteilung „Technisch administrative Beratung und Genehmigungen“ unterstützt, die zur Umsetzung der Rechtsvorschriften abteilungsübergreifende Querschnittsaufgaben wahrnimmt.

4.1 Gentechnische Anlagen

4.1.1 Beratung und Organisation (Gentechnikrecht)

Das Forschungszentrum Karlsruhe GmbH erfüllt als Inhaber gentechnischer Anlagen verschiedene Betreiberpflichten auf der Grundlage des Gentechnikgesetzes (GenTG), der Gentechnik-sicherheitsverordnung (GenTSV), der Gentechnikaufzeichnungsverordnung (GenTAufzV) und der Biostoffverordnung (BioStoffV). Ferner sind die technischen Regelwerke sowie berufsgenossenschaftliche Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit zu berücksichtigen.

HS-TBG berät und unterstützt die OE bei der langfristigen Sicherstellung gesetzlicher Anforderungen, bei der Erfüllung behördlicher Vorgaben und bei der Planung und Anmeldung neuer gentechnischer Anlagen, und wickelt die formalen Genehmigungs- und Anmeldeverfahren (siehe Kap. 2) ab.

HS-TBG wird in der Regel schon während der Planungsphase zur Errichtung neuer gentechnischer Anlagen eingebunden, um Baumaßnahmen und Sicherheitsvorkehrungen für die Anlagen abzustimmen. So werden Querschnittsaufgaben in Zusammenarbeit mit der betroffenen OE und weiteren Fachabteilungen und Stabsstellen des Forschungszentrums wahrgenommen und koordiniert. Die erforderlichen administrativen Abläufe zur Anmeldung gentechnischer Anlagen erfolgen in Abstimmung mit den jeweiligen Projektleitern und Beauftragten für die Biologische Sicherheit grundsätzlich über HS-TBG.

Außerdem führt HS-TBG für den Betreiber die Bestellung der „Beauftragten für die Biologische Sicherheit“ (BBS) und der „Projektleiter“ (PL) der jeweiligen gentechnischen Sicherheitsbereiche durch und dokumentiert zentral die vom Verordnungsgeber geforderten Aufzeichnungen der gentechnischen Arbeiten (Kap. 4.1.3).

2007 wurden in Zusammenarbeit mit der Rechtsabteilung des Forschungszentrums Fragen zu Verantwortung und Haftung des Betreibers, des Beauftragten für Biologische Sicherheit und des Projektleiters im Gentechnikrecht geklärt. Primär ist der Betreiber einer gentechnischen Anlage für die Einhaltung personeller, organisatorischer und technischer Voraussetzungen zum Betrieb von gentechnischen Anlagen verantwortlich. Unabhängig davon kann er Verantwortlichkeiten an den Projektleiter delegieren, während der Beauftragte für Biologische Sicherheit ausschließlich eine beratende und überwachende Funktion inne hat.

Sowohl der Projektleiter, als auch der BBS haben den Betreiber bei der Umsetzung gerichtlicher Vorgaben und behördlich angeordneter Maßnahmen (z. B. in Bezug auf Mitteilungspflichten gemäß § 21 Abs. 2 und 3 GenTG) zu unterstützen.

Gemäß § 8 (GenTSV) hat der Betreiber gentechnischer Anlagen die nach dem Stand der Wissenschaft und Technik erforderlichen Vorsorgemaßnahmen zu treffen, um eine Exposition der Beschäftigten und der Umwelt gegenüber dem gentechnisch veränderten Organismus so gering wie möglich zu halten. Grundsätzlich sind individuelle Schutzmaßnahmen den technischen Maßnahmen nachgeordnet (Sicherheitswerkbank vor Mundschutz).

Um diesen Anforderungen umfassend gerecht zu werden, wurden die verantwortlichen sowie die sonstigen wissenschaftlichen Mitarbeiter entsprechender Einrichtungen in Fragen zur (biologischen) Arbeitssicherheit vor Ort beraten, wobei Arbeits- und Anschauungsmaterial zur Verfügung gestellt wurde. HS-TBG unterstützt die OE bei der Anfertigung bzw. Anpassung von Betriebsanweisungen und Hygieneplänen sowie bei der Beschaffung von Schutzausrüstungen und berät zu Fragen zur Gerätewartung. In diesem Kontext wurden 2007 Recherchen zu verschiedenen sicherheitsrelevanten Themen durchgeführt (Kap. 4.3).

4.1.2 Begehungen und Sicherheitsunterweisungen in gentechnischen Anlagen

Auf der Grundlage gesetzlicher Vorgaben führt HS-TBG routinemäßig Arbeitsstättenbegehungen in Laboren mit biologischer Sicherheitseinstufung durch, teilweise auch zur Vorbereitung von Aufsichtsbesuchen und unter Einbeziehung von StFA, MED und BR.

In den gentechnischen Anlagen des Forschungszentrums fanden in 2007 elf Begehungen statt, u.a. auch zur Vorbereitung des Ausbaus von S1-Anlagen.

Die Anlagen wiesen in der Regel einen guten bis sehr guten technischen Standard auf. Organisation und Arbeitsweise entsprachen den rechtlichen Anforderungen.

Im Februar 2007 besichtigten das RP Tübingen und des RP Karlsruhe diverse neue S1- und BSL-2 Anlagen. Die Behörde bestätigte den ordnungsgemäßen Betrieb der gentechnischen Anlagen.

Für die Mitarbeiter von gentechnischen Anlagen der Sicherheitsstufen S1 führte HS-TBG in Zusammenarbeit mit den Projektleitern Sicherheitsunterweisungen gem. § 12 Abs. 3 der GenTSV durch. Schwerpunkte seitens TBG waren die Themen „Hygienemaßnahmen, Sterilisation, Desinfektion“ sowie Vermeidung von Kontaminationen in Bakterien-, Zell- und Gewebekulturen“.

Neben den routinemäßigen jährlichen Mitarbeiterunterweisungen beteiligte sich HS-TBG in Einzelfällen auch an den Unterweisungen neu eingestellter Institutsmitarbeiter und der Einweisung von Fremdfirmenpersonal im Hinblick auf die spezifischen Bedingungen am Arbeitsplatz, insbesondere Reinigungskräfte für die Laborreinigung und die desinfizierende Reinigung von Deckenelementen.

Im August 2007 wurde von HS-TBG für die Mitarbeiter der Werkfeuerwehr eine Schulung zum Thema „Verhalten in biologischen Sicherheitsbereichen“ durchgeführt. Hierbei wurde zunächst ein Überblick über die in den Forschungsinstituten verwendeten Organismen und deren Zugehörigkeit zu Risikogruppen (RG 1 – RG 2) gegeben, die Bereiche sowie die prinzipiellen Arbeitsabläufe und –Mittel vorgestellt. Im Rahmen der Begehung von zwei unterschiedlichen S2- bzw. BSL-2 Bereichen wurden die örtlichen Gegebenheiten und Maßnahmen im Falle eines Notfalls bzw. Brandes besprochen.

4.1.3 Dokumentations- und Berichtspflichten in gentechnischen Anlagen

Der Betreiber gentechnischer Anlagen ist verpflichtet, Aufzeichnungen über gentechnische Arbeiten vollständig und zeitnah zu führen und diese der zuständigen Behörde auf ihr Ersuchen vorzulegen. Allgemein gültige Regeln zur Anfertigung der Aufzeichnungen sind in der Gentechnikaufzeichnungsverordnung (GenTAufzV) festgelegt.

Im Rahmen der Einführung der von der Aufsichtsbehörde vorgegebenen Formblätter wurden zahlreiche Informationsgespräche mit Projektleitern, BBS und Gruppenleitern durchgeführt, wobei insbesondere darauf hingewiesen wurde, dass vor Beginn einer jeden weiteren S1-Arbeit eine Risikobewertung gemäß § 6 GenTG i.V.m. Anhang I der GenTSV durchzuführen ist.

Da das Forschungszentrum sehr heterogene Arbeitsschwerpunkte verfolgt und die gentechnischen Arbeiten komplex vernetzt sein können (z. B. zur Analyse genetischer Signalkaska-

den in Zellkulturen, Fischen und Mäusen), ist die klare Abgrenzung einer S1-Arbeit zu einer gentechnischen Anlage mitunter recht schwierig, da auch anlagenübergreifend gearbeitet wird.

Die Verantwortung bezüglich der Dokumentationspflichten obliegt sowohl dem Projektleiter einer gentechnischen Anlage, als auch dem Betreiber, das heißt, dem Forschungszentrum Karlsruhe GmbH als juristischer Person. Zur Sicherstellung der Aufzeichnungspflichten verfolgt HS-TBG für den Betreiber die Umsetzung der GenTAufzV in den einzelnen gentechnischen Anlagen. Hierzu zählen die Beratung der Projektleiter und wissenschaftlichen Mitarbeiter, Unterstützung bei der Risikobewertung weiterer gentechnischer S1-Arbeiten, der routinemäßige Abgleich und ggf. die Fortschreibung bereits angefertigter Aufzeichnungen sowie eine laufende zentrale Ablage. Liegen für Spender- und Empfängerorganismen zum Zeitpunkt des Beginns einer geplanten S1-Arbeit noch keine Daten in den ZKBS-Listen (ZKBS - Zentrale Kommission für die Biologische Sicherheit ist beim Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit angesiedelt) vor, so werden diese Organismen im Rahmen der Risikobewertung charakterisiert. Die einzelnen Nachweise sind dann Bestandteil der Aufzeichnungen. Gleiches gilt für die im Rahmen der gentechnischen Arbeit verwendeten Vektoren und Gensequenzen.

Die Aufzeichnungsunterlagen werden von Seiten der Verantwortlichen der gentechnischen Anlagen zeitnah angefertigt. Dies wurde bei einer stichprobenhaften Überprüfung der Aufzeichnungen in 2007 von der gentechnischen Aufsichtsbehörde bestätigt. Gentechnische Aufzeichnungen müssen über einen Zeitraum von 10 Jahren (S1) bzw. 30 Jahren (S2) nach Abschluss der jeweiligen gentechnischen Arbeit aufbewahrt werden. Eine entsprechende Registratur wurde in HS-TBG eingerichtet. Die seit 2004 erstellten Aufzeichnungsdokumente liegen in elektronischer Form und als Akte vor. Zurzeit wird hierzu die Einführung einer zentralen Datenbank vorbereitet, die das Anfertigen der Aufzeichnungsunterlagen erleichtern soll.

4.2 Tierhaltungsanlagen

4.2.1 Beratung und Organisation (Tierschutzrecht)

Die auf dem Gelände des Forschungszentrums befindlichen Tierhaltungsanlagen sind parallel auch als gentechnische Anlagen angemeldet. Darum sind sowohl die Vorgaben des TierSchG als auch die des GenTG einzuhalten. Durch die Vorgabe vorbeugender technischer und organisatorischer Maßnahmen (SPF-Bereich –englisch: „specific-pathogen free“ bezeichnet einen Bereich mit besonders hohem Hygienestatus, hier mit Zwangsdusche, Handlungs- und Betriebsanweisungen und speziellen Hygieneplänen) kann der Eintrag von Zoonosen und Infektionserregern in die Tierhaltung weitestgehend verhindert werden. Auch bei der Entsorgung von Tierkörpern und Exkrementen sind Anforderung gemäß BioStoffV einzuhalten und zu überwachen.

4.2.2 Dokumentations- und Berichtspflichten gemäß TierSchG

Die Zahl der pro Jahr durchgeführten Versuchsvorhaben sowie bei Wirbeltieren Art und Zahl der insgesamt verwendeten Tiere sind der zuständigen Aufsichtsbehörde gemäß Versuchstiermeldeverordnung (VTMVO) zu melden. Hierbei sind die entsprechenden Richtlinien zu berücksichtigen, die beispielsweise von der Gesellschaft für Versuchstierkunde- Society of Laboratory Animal Science (GV-SOLAS) in Form von „Leitfäden“ zum Ausfüllen der Meldungen gemäß VTMVO herausgegeben wurden. Die Meldungen sind jährlich fristgerecht bis zum 31. März des Folgejahres in elektronischer Form gemäß dem Vorgabedokument „Meldung zu Versuchszwecken“ des Regierungspräsidiums Karlsruhe zu erstatten. HS-TBG unterstützt den Tierschutzbefragten und die Leitung der Tierhaltungseinrichtung des Forschungszentrums bei der Erstellung der Versuchstiermeldungen und übermittelt diese an die zuständige Aufsichtsbehörde.

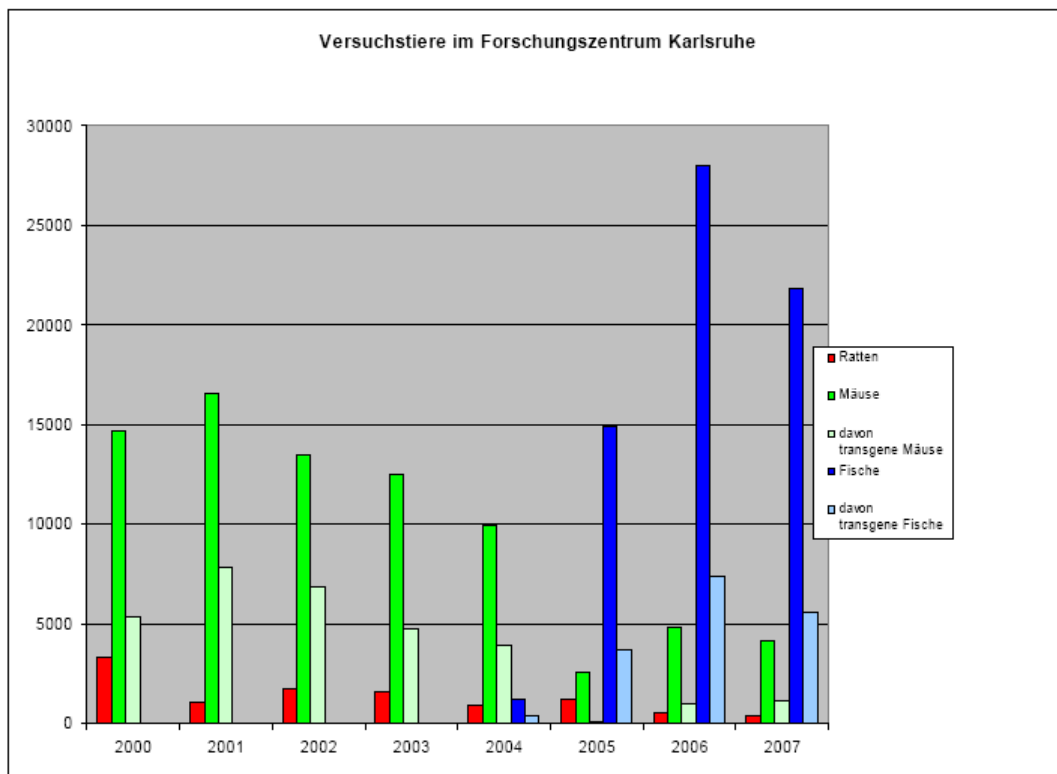


Abb. 4-1 Versuchstierzahlen im Forschungszentrum Karlsruhe

4.3 Arbeiten mit infektiösen Materialien und Infektionsschutz

Inzwischen betreibt das Forschungszentrum zwei BSL-2 Anlagen mit Erlaubnis zum Umgang mit Krankheitserregern gem. § 44 ff des Infektionsschutzgesetzes.

Dazu musste in 2006/2007 u.a. ein Laborkomplex so ausgebaut werden, dass er den Anforderungen an die Laborbeschaffenheit und die sicherheitstechnische Ausrüstung, die in den „Richtlinien der Regierungspräsidien und des Landesgesundheitsamtes BW für wissenschaftliche und Medizinisch-diagnostische Laboratorien“ konkretisiert wurden, genügt. HS-TBG hat die Umsetzung überwacht, sodass die Anlage zu Beginn des Jahres 2007 genehmigt wurde (siehe Kap. 2).

Um im Gentechnik- und Infektionsschutzbereich des Forschungszentrums die optimal wirksamen Verfahren zur Desinfektion und Inaktivierung gentechnisch veränderter Organismen und Krankheitskeime bereit zu halten, wird von HS-TBG die Desinfektionsmittelliste des Verbundes für angewandte Hygiene e.V. (VAH) für die jeweils aktuellen behördlich zugelassenen Desinfektionsmittel bereit gehalten. Für besondere Fragestellungen wurden in Kooperation mit der Behörde Hygienepläne erstellt, wobei im Einzelfall ein für die spezifische Anwendung optimal wirksames Desinfektionsmittel ausgewählt, sowie das jeweilige Applikationsverfahren und die Dosis festgelegt wurden.

Zum Bereich Arbeitsschutz in biologischen Sicherheitsbereichen wurden von HS-TBG angemessene Sicherheitsmaßnahmen eruiert. Für die spezifischen Anwendungen in den OE (Materialien in der Tierhaltung, Arbeiten mit infektiösen Erregern) sollte ein optimaler Atemschutz garantiert werden. Die Anforderungen hieran sind jedoch im Einzelfall so spezifisch, dass von einer allgemeinen Lagerhaltung abgeraten wurde.

Die biologische Sicherheitswerkbank stellt ein elementares Arbeitsgerät für mikrobiologische und gentechnische Arbeiten dar. Bei korrektem Arbeiten verhindert die laminare (gerichtete) Luftströmung in der Sicherheitswerkbank Klasse 2 dass Luftkeime von außen in die Werkbank gelangen und mit Mikroorganismen belastete Aerosole aus der Werkbank heraus gelangen kön-

nen. Dies ist jedoch nur bei einwandfreier Beschaffenheit der integrierten Filter (hier: HEPA-Filter; High Efficiency Particulate Arrest) möglich. Die Sicherheitswerkbänke sind jährlich zu warten und deren integrierte Filter bei Bedarf auszutauschen. Bislang bestand am Forschungszentrum keine einheitliche Regelung zur Entsorgung dieser Filter. Darum wurde in 2007 von HS-TBG in Kooperation mit den Fachabteilungen des Forschungszentrums verbindliche Verfahren für die Entsorgung von HEPA-Filter aus S1 sowie für solche aus S2-Anlagen festgelegt und mit der Gentechnikbehörde abgestimmt, wobei die Richtlinien des Expertenkreises „Laborsicherheit“ im Ausschuss für Biologische Arbeitsstoffe (ABAS) der das Bundesministerium für Arbeit und Soziales in Fragen des Arbeitsschutzes bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen berät, berücksichtigt wurden.

Im Februar 2007 gab die Zentrale Kommission für die Biologische Sicherheit (ZKBS), eine Stellungnahme zur Kontamination von Zelllinien mit dem Squirrel Monkey Retrovirus (SMRV) bekannt (Az. 6790-05-02-37). In zwei zusammenarbeitenden deutschen Laboratorien wurden umfangreiche Kontaminationen bei Vertebraten-Zelllinien entdeckt, die wahrscheinlich auf eine Verschleppung von Erregern im Laborbetrieb zurückzuführen ist. Das Forschungszentrum beteiligte sich auf Veranlassung von HS-TBG an der Überprüfung zahlreicher in den gentechnischen Anlagen gehandhabter Zellkulturen mit dem Ergebnis, dass die am Forschungszentrum überprüften Zelllinien bislang keine Kontamination mit SMRV aufwiesen. Dieses Ergebnisse wurden dem Regierungspräsidium Tübingen zur Übermittlung an die ZKBS mitgeteilt.

5 Strahlenschutz

5.1 Strahlenschutzorganisation im Forschungszentrum

Das Forschungszentrum Karlsruhe GmbH ist als juristische Person Inhaber einer Vielzahl von atomrechtlichen Genehmigungen und somit Strahlenschutzverantwortlicher nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung. Der Vorstandsvorsitzende des Forschungszentrums hat als Strahlenschutzverantwortlicher die Wahrnehmung seiner Aufgaben an den Sicherheitsbeauftragten delegiert, der bezüglich des Strahlenschutzes als Strahlenschutzbevollmächtigter handelt.

Zur Durchführung seiner Aufgaben bedient sich der Sicherheitsbeauftragte der Hauptabteilung Sicherheit (HS), deren Leiter er ist. Die Aufgaben des operationellen Strahlenschutzes werden dabei von der Abteilung Überwachung und Messtechnik (HS-ÜM) und die des administrativen Strahlenschutzes von der Abteilung Technisch-administrative Beratung und Genehmigungen (HS-TBG) wahrgenommen.

5.2 Administrativer Strahlenschutz¹

5.2.1 Bestellung von Strahlenschutzbeauftragten nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung

A. Zieger, K.-G. Langguth

Der Strahlenschutzverantwortliche hat zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei atomrechtlich relevanten Tätigkeiten die notwendige Anzahl von Strahlenschutzbeauftragten zu bestellen.

Als Strahlenschutzbeauftragte (SSB) dürfen nur Personen bestellt werden,

- die die zur Wahrnehmung ihrer Aufgaben erforderlichen Befugnisse besitzen
- bei denen keine Tatsachen vorliegen, aus denen sich Bedenken gegen ihre Zuverlässigkeit ergeben und
- die im Besitz der erforderlichen Fachkunde sind.

Die erforderliche Fachkunde wird durch eine geeignete Ausbildung, praktische Erfahrung und die erfolgreiche Teilnahme an anerkannten Kursen erworben und muss von der zuständigen Behörde bescheinigt werden. Weiterhin muss jeder Strahlenschutzbeauftragte im 5-Jahres-Rhythmus seine Fachkunde durch Teilnahme an einem von der Behörde anerkannten Kurs oder anderen behördlich anerkannten Fortbildungsmaßnahmen aktualisieren.

Die Gruppe „Administrativer Strahlenschutz“ von HS-TBG berät die Organisationseinheiten und die Strahlenschutzbeauftragten über die vom jeweiligen Genehmigungsumfeld abhängenden Anforderungen an die Fachkunde, erwirkt die erforderlichen Fachkundebescheinigungen bei den jeweils zuständigen Behörden und überwacht die Termine zur Fachkundeaktualisierung.

Bei der Bestellung der Strahlenschutzbeauftragten sind deren Aufgaben und lokalen Zuständigkeitsbereiche durch die Organisationseinheiten und HS-TBG so gegeneinander abzugrenzen, dass Doppelverantwortlichkeiten oder Lücken in den Verantwortungsbereichen ausgeschlossen sind. Die Bestellung von Strahlenschutzbeauftragten, ihre Entlastung sowie Änderungen in in-

¹ Die dem administrativen Strahlenschutz formal zuzurechnende Durchführung atomrechtlicher Genehmigungsverfahren ist, zusammen mit der Durchführung von Genehmigungsverfahren auf anderer Rechtsgrundlage, in einem gesonderten Kapitel (Kap.2) ausgeführt.

nerbetrieblichen Entscheidungsbereichen erfolgen schriftlich und müssen der jeweiligen Aufsichtsbehörde mitgeteilt werden.

Die große Zahl der Bereiche des Forschungszentrums, die Vielfalt der erteilten atomrechtlichen Genehmigungen und die ständig erforderlichen Aktualisierungen aufgrund von Änderungen im Genehmigungsumfeld sowie durch Personalwechsel bedingen einen erheblichen administrativen Aufwand. Ende 2007 waren 141 (Vorjahr 139) Personen zu Strahlenschutzbeauftragten nach StrlSchV und RöV bestellt, die in 242 (Vorjahr 220) eigenständigen innerbetrieblichen Entscheidungsbereichen tätig sind. Im Jahr 2007 waren insgesamt 42 Neubestellungen oder Entlastungen von Strahlenschutzbeauftragten durchzuführen sowie 104 (Vorjahr 21) innerbetriebliche Entscheidungsbereiche neu festzulegen oder geänderten Gegebenheiten anzupassen. Für Neubestellungen waren 16 Fachkundebescheinigungen einzuholen.

5.2.2 Umsetzung des atomrechtlichen Regelwerkes

K.-G. Langguth, A. Zieger

Der Aufgabenbereich administrativer Strahlenschutz sorgt für eine einheitliche Umsetzung des atomrechtlichen Regelwerkes, indem er die Strahlenschutzbeauftragten berät, die Betriebsstätten begeht und an Aufsichtsbesuchen der Behörden teilnimmt. Er unterstützt die Strahlenschutzbeauftragten durch die Bereitstellung des so genannten Strahlenschutzordners. Dieser Ordner ist eine Arbeitsunterlage für die Strahlenschutzbeauftragten in Form einer Loseblattsammlung, in der alle wesentlichen Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, das aktuelle interne Regelwerk des Forschungszentrums einschließlich der an die SSB gerichteten Strahlenschutzanweisungen enthalten sind. Wesentliche Inhalte dieses Ordners werden zusätzlich im Intranet des Forschungszentrums unter KISS (Karlsruher Informations-System Sicherheit) angeboten.

5.2.3 Betriebsüberwachung

K.-G. Langguth, A. Zieger, O. Zwernemann

Eine der Pflichten des Strahlenschutzverantwortlichen ist die Durchführung einer regelmäßigen Betriebsüberwachung. Diese wird, zusätzlich zur Beratung und zur Bereitstellung interner Regelungen und Anweisungen, durch Begehungen der atomrechtlich relevanten Arbeitsstätten durch Strahlenschutzingenieure und wissenschaftliche Mitarbeiter der Gruppe „Administrativer Strahlenschutz“ sichergestellt. Bei diesen Begehungen wird überprüft, ob die einschlägigen Bestimmungen wie Atomgesetz, Strahlenschutzverordnung, Röntgenverordnung, Genehmigungsaufgaben sowie das interne Regelwerk des Forschungszentrums umgesetzt werden. Begehungen können auch als Schwerpunktprüfungen auf Teilbereiche oder Teilaspekte begrenzt sein.

Zu Begehungen werden neben der Leitung der betreffenden Organisationseinheit der Strahlenschutzbeauftragte des Bereiches, die Abteilung Überwachung und Messtechnik, die Medizinische Abteilung und der Betriebsrat eingeladen. Ergebnisse von Begehungen und - soweit erforderlich - die Meldung, dass ein festgestellter Mangel beseitigt ist, werden dokumentiert.

Darüber hinaus werden auch Aufsichtsbesuche durch Vertreter der atomrechtlichen Behörden in Anlagen und Einrichtungen des Forschungszentrums von Mitarbeitern der Gruppe Strahlenschutz begleitet, um zu gewährleisten, dass Regelungen der Organisationseinheiten mit dem übergeordneten Regelwerk des Forschungszentrums in Einklang stehen. Im Jahr 2007 wurden insgesamt 26 Begehungen nach Strahlenschutz- oder Röntgenverordnung und im Rahmen von Aufsichtsbesuchen durchgeführt.

5.2.4 Zentrale Erfassung und Überwachung von Personen nach Röntgen- und Strahlenschutzverordnung

S. Debus, A. Zieger, K.-G. Langguth

Nach der Strahlenschutz- und der Röntgenverordnung unterliegen Personen der Strahlenschutzüberwachung, wenn sie sich in Strahlenschutzbereichen aufhalten und dies zu einer effektiven Dosis von mehr als 1 mSv im Kalenderjahr führen kann. Von Personen, die sich in Kontrollbereichen aufhalten, muss - unabhängig von der Höhe der effektiven Dosis im Kalenderjahr - grundsätzlich die Körperdosis ermittelt und gemäß den Bestimmungen der Verordnungen überwacht werden. Die Erfassung dieser Personen ist vorrangig die Aufgabe des jeweils zuständigen Strahlenschutzbeauftragten (SSB) in enger Zusammenarbeit mit der Hauptabteilung Sicherheit. Die dazu erhobenen Personendaten und die gemessenen Dosiswerte werden an HS-TBG übermittelt. Für die Erfassung, Verarbeitung und Dokumentation dieser Daten wird ein umfangreiches „Personendosisregister“ unterhalten, das neben der Erfüllung der gesetzlich vorgeschriebenen Aufzeichnungs- und Mitteilungspflichten auch zur Überwachung von Terminen und Dosisgrenzwerten dient. Die für die einzelnen Personen festgelegten Maßnahmen zur Strahlenschutzüberwachung werden jährlich durch den zuständigen SSB überprüft und gegebenenfalls neu festgelegt.

Im Jahr 2007 wurden 984 (Vorjahr 963) Personen des Forschungszentrums gemäß Strahlenschutz- und Röntgenverordnung überwacht und die zugehörigen Daten im Personendosisregister dokumentiert. Sofern Änderungen in den Expositionsbedingungen von beruflich strahlenexponierten Personen eintraten, und/oder durch Arbeitsplatzwechsel ein anderer Strahlenschutzbeauftragter zuständig wurde, wurde dies im Personendosisregister durch das Anlegen eines neuen Überwachungsintervalls dokumentiert. Im Jahr 2007 wurden 994 (Vorjahr 1021) Überwachungsintervalle für Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Forschungszentrums angelegt.

Im zentralen Personendosisregister werden zudem von Fremdfirmenmitarbeitern (siehe Kap. 5.2.5.1) die nichtamtlichen Dosiswerte aus äußerer Strahlenexposition sowie die Dosiswerte aus innerer Exposition, die auf Aufenthalte in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums zurückzuführen sind, entsprechend den gesetzlichen Vorgaben dokumentiert.

5.2.4.1 Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen

Für Mitarbeiter des Forschungszentrums, die gemäß der Definition der jeweiligen Verordnung beruflich strahlenexponierte Personen sind, werden erfasst: Personendaten, Angaben zum Ort und zur Art des Arbeitsplatzes, Angaben zur möglichen äußeren Strahlenexposition und zur möglichen Strahlenexposition durch Inkorporation sowie Angaben zu den am jeweiligen Arbeitsplatz vorgesehenen Schutzmaßnahmen. Mit der Erfassung unterliegt die betroffene Person je nach Kategorie (A oder B) der routinemäßigen administrativen Strahlenschutzüberwachung. Diese beinhaltet termingerechte arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen nach StrlSchV, termingerechte Strahlenschutzunterweisungen, die Ausrüstung mit Dosimetern, die Dokumentation der Dosiswerte und die Prüfung auf Einhaltung der jeweiligen Dosisgrenzwerte. Die routinemäßige Strahlenschutzüberwachung endet mit der Abmeldung durch den zuständigen Strahlenschutzbeauftragten. Die Daten müssen entsprechend den gesetzlichen Vorgaben, also mindestens bis 30 Jahre nach Beendigung der Tätigkeit als beruflich strahlenexponierte Person, dokumentiert und archiviert werden.

Der zuständige SSB erhält aus dem Personendosisregister als Hilfe zur Wahrnehmung seiner Aufgaben monatlich folgende Informationen über die ihm als SSB zugeordneten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Forschungszentrums:

- Namen der Personen, die im Folgemonat unterwiesen werden müssen
- Namen der Personen, die im Folgemonat von einem ermächtigten Arzt zu untersuchen sind

- Liste der Personen, die aufgrund fehlender termingerechter Unterweisung oder Untersuchung im laufenden Monat gesperrt sind
- Liste der Personen, für die im Folgemonat eine Inkorporationsmessung durchgeführt werden soll
- Übersicht über die im Personendosisregister bis zum entsprechenden Monat registrierten Monatsdosen aus äußerer Bestrahlung.

Die beruflich strahlenexponierten Personen des Forschungszentrums erhalten jährlich einen Auszug aus dem Personendosisregister über ihre berufliche Strahlenexposition des vergangenen Jahres und ihre bis dahin erfasste Berufslebensdosis.

5.2.4.2 Überwachung von Personen, die keine beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorien A oder B nach StrlSchV sind

In Kontrollbereichen ist – unabhängig von der zu erwartenden Dosis – grundsätzlich die Personendosis zu messen. Personen, die keine beruflich strahlenexponierten Personen der Kategorie A oder B gemäß der Definition der Strahlenschutzverordnung sind, besitzen kein persönlich zugeordnetes amtliches Dosimeter und werden darum, wenn sie Kontrollbereiche des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH betreten, mit einem nichtamtlichen Dosimeter ausgestattet. Dies gilt sowohl für Eigen- als auch für Fremdpersonal. Im zentrumsinternen Personendosisregister werden die Personendaten dieser Personen, ihre Aufenthaltszeiten im Kontrollbereich, die Dosiswerte aus äußerer Strahlenexposition, und gegebenenfalls Dosiswerte aus innerer Exposition erfasst.

5.2.4.3 Überwachung von Besuchern in Kontrollbereichen des Forschungszentrums

Besucher und Besuchergruppen, die Kontrollbereiche des Forschungszentrums betreten, unterliegen ebenfalls einer Überwachung. Die vorgeschriebene Dokumentation der anhand direkt ablesbarer Dosimeter gemessenen oder ermittelten effektiven Dosis sowie der Personaldaten und des Namens der Begleitperson wird vom zuständigen Strahlenschutzbeauftragten und nicht von HS-TBG vorgenommen.

5.2.4.4 Inkorporationsüberwachung im Forschungszentrum

Eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung ist bei Personen erforderlich, die mit offenen radioaktiven Stoffen umgehen und bei denen nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Körperdosis durch Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper ein Zehntel des Grenzwertes für die effektive Dosis von 20 mSv pro Jahr bzw. ein Zehntel der Organdosisgrenzwerte gemäß § 55 Abs. 2 StrlSchV überschreitet. Zur Bestimmung der Dosis durch Inkorporation können verschiedene Messmethoden angewandt werden, z. B. Messung der Raumluftaktivitätskonzentration am Arbeitsplatz, direkte Messung der Aktivitäten im Körper oder Ausscheidungsanalysen.

Die Notwendigkeit einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung wird in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde auf der Grundlage der „Strahlenschutzanweisung des Sicherheitsbeauftragten zur Inkorporationsüberwachung“ festgelegt.

Im Berichtsjahr war das Erfordernis einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung bei keiner Anlage oder Einrichtung des Forschungszentrums Karlsruhe gegeben. Trotzdem wurden bei Mitarbeitern des Forschungszentrums, die Umgang mit offenen Transuranen hatten, Kontrollmessungen in Form von Stuhl- und Urinanalysen durchgeführt.

Sollte zukünftig in bestimmten Bereichen wieder eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung erforderlich werden, so werden das Überwachungsverfahren und die Überwachungshäufigkeit in Abhängigkeit vom jeweils zu bestimmenden Radionuklid neu festgelegt.

Nach außergewöhnlichen Ereignissen (z. B. bei Kontaminationen mit Inkorporationsverdacht) werden weiterhin Inkorporationsmessungen durchgeführt. Bei den im Jahr 2007 durchgeführten

Inkorporationsanalysen aufgrund außergewöhnlicher Ereignisse, wurde bei einem Mitarbeiter einer Fremdfirma eine Dosis aufgrund innerer Exposition berechnet. Die daraus resultierende effektive Dosis betrug 0 mSv. Seit Ende 2004 werden die Werte der berechneten Inkorporationsdosen dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) nach standardisiertem Verfahren auf elektronischem Wege übermittelt.

5.2.4.5 Ergebnisse der Personendosisüberwachung

In Tab. 5-1 ist für die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH die prozentuale Häufigkeitsverteilung der Jahresdosiswerte, die Anzahl der Personen mit Jahresdosen im jeweiligen Dosisintervall und die höchste für eine Person festgestellte Jahresdosis aus Inkorporationen und äußerer Bestrahlung angegeben. Die äußere Bestrahlung der beruflich strahlenexponierten Personen wurde mit Phosphatglasdosimetern des GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH überwacht. Die angegebenen Dosiswerte sind die Summe aus Photonen- und – soweit gemessen – Neutronendosis.

Dosisintervall in mSv				Häufigkeitsverteilungen der Jahresdosiswerte in Prozent [Anzahl der Personen]	
	H	=	0	76,6	[511]
0	<	H	≤ 0,5	18,4	[123]
0,5	<	H	≤ 1,0	2,1	[14]
1,0	<	H	≤ 3,0	2,6	[17]
3,0	<	H	≤ 6,0	0,3	[2]
6,0	<	H	≤ 10,0	0	[0]
10,0	<	H		0	[0]
Anzahl erfasster Monatsdosiswerte				7 030	(Vorjahr 7 304)
höchste Jahresdosis in mSv				3,7	(Vorjahr 5,7)

Tab. 5-1: Ergebnisse der Personendosisüberwachung für das Jahr 2007 für Personen des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH

Im Jahr 2007 wurden insgesamt 667 Jahresdosen aufgrund von Kontrollbereichsaufenthalten bestimmt. Die summierte Dosis dieser Personen betrug einschließlich der Dosen aufgrund innerer Exposition 70,9 mSv (Vorjahr: 45,2 mSv). Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Strahlenexposition von etwa 0,12 mSv. Der höchste für eine Einzelperson festgestellte Jahreswert der Personendosis betrug 3,7 mSv (Vorjahr 5,7 mSv). Er wurde bei einer beruflich strahlenexponierten Person der Kategorie A festgestellt. Auch dieser Maximalwert blieb deutlich unter dem Jahresdosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung von 20 mSv.

In Tab. 5-2 ist für beruflich strahlenexponierte Mitarbeiter von Fremdfirmen, die nach § 15 StrlSchV in Kontrollbereichen des Forschungszentrum, in denen eine Zweitdosimetrie verpflichtend ist, tätig waren, die prozentuale Häufigkeitsverteilung der ermittelten Betreiberjahresdosis, die Anzahl der Personen mit Jahresdosen im jeweiligen Dosisintervall und die höchste für eine Person festgestellte Betreiberjahresdosis wiedergegeben. Die angegebenen Dosiswerte stammen von elektronischen direkt ablesbaren RADOS-Dosimetern und aus Inkorporationsüberwachungsmaßnahmen.

Dosisintervall in mSv				Häufigkeitsverteilungen der Betreiber-Jahresdosiswerte in Prozent [Anzahl der Personen]	
		H	=	0	72,2 [496]
0	<	H	≤	0,5	16,7 [115]
0,5	<	H	≤	1,0	3,6 [25]
1,0	<	H	≤	3,0	5,3 [36]
3,0	<	H	≤	6,0	1,9 [13]
6,0	<	H	≤	10,0	0,3 [2]
10,0	<	H			0 [0]
höchste Jahresdosis in mSv					7,8 (Vorjahr 9,3)

Tab. 5-2: Ergebnisse der Personendosisüberwachung für das Jahr 2007 des mit Betreiberdosimetern überwachten Fremdfirmenpersonals in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH unter Einschluss der aus außergewöhnlichen Ereignissen resultierenden effektiven Dosen durch Inkorporation

5.2.5 Personen in fremden Strahlenschutzbereichen

U. Bartmann, S. Debus, A. Köhler, A. Zieger, K.-G. Langguth

Die Schutzvorschriften der Strahlenschutzverordnung unterscheiden nicht zwischen fremdem Personal und Personal des Inhabers einer atomrechtlichen Umgangs- oder Betriebsgenehmigung (Betreiber). Da sowohl der Arbeitgeber, der sein Personal in fremde Anlagen oder Einrichtungen entsendet, als auch der Betreiber dieser Anlagen und Einrichtungen, den Schutz der beschäftigten Person sicherzustellen hat, sind die Strahlenschutzverantwortlichkeiten und die daraus resultierenden Aufgaben zwischen beiden Verantwortlichen genau abzugrenzen. Wer sein Personal in fremden Anlagen oder Einrichtungen beschäftigt oder dort selbst Aufgaben wahrnimmt, bedarf einer Genehmigung nach § 15 StrlSchV, wenn dies mit einer beruflichen Strahlenexposition von mehr als 1 mSv pro Jahr verbunden sein kann. Diese Genehmigungen machen zur Auflage, dass zwischen dem Genehmigungsinhaber und dem Betreiber der fremden Anlage oder Einrichtung ein Vertrag über die Abgrenzung der Aufgaben ihrer Strahlenschutzbeauftragten abgeschlossen wird. Diese „Abgrenzungsverträge“ werden für das Forschungszentrum im Aufgabenbereich „Administrativer Strahlenschutz“ abgeschlossen und verwaltet.

5.2.5.1 Fremdfirmenpersonal in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums

Obwohl das Forschungszentrum nicht Adressat der Genehmigungsbescheide nach § 15 StrlSchV ist, folgt es der bundesweit üblich gewordenen Praxis, sich diese Genehmigungen der Fremdfirmen vor Abschluss eines Abgrenzungsvertrages vorlegen zu lassen und deren zeitlich begrenzte Gültigkeit regelmäßig zu überprüfen. Dadurch soll, obwohl aktuell noch keine Rechtsverpflichtung besteht, das rechtlich einwandfreie Verhalten der in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums beschäftigten Fremdfirmen und ein höchstmöglicher Strahlenschutz für deren Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sichergestellt werden. Zum Jahresende 2007 hatte das Forschungszentrum Karlsruhe mit 271 Fremdfirmen gültige Abgrenzungsverträge.

Die wichtigsten Daten der nach § 15 StrlSchV tätigen Fremdfirmen, wie Informationen zu Genehmigungen, Vertragsstatus, Zuständigkeiten, Anschriften, Fax- und Telefonverbindung sind online im Intranet des Forschungszentrums Karlsruhe abrufbar. Durch diesen immer aktuellen

Online-Zugriff werden die Strahlenschutzbeauftragten, Strahlenschutzmitarbeiter vor Ort, Einkäufer von Werkvertragsleistungen und Einsatzkräfte für Schadensfälle in ihrer Arbeit mit aktuellen Daten unterstützt.

2007 wurde nur noch in den von der Behörde festgelegten Bereichen HDB, IMF II-FML, IK-Zyklotron (bis Juli 07), MZFR und KNK eine Betreiberdosimetrie durchgeführt. Obwohl behördlich nicht gefordert, wurde außerdem im INE die nichtamtliche Zweitdosis ermittelt. In allen anderen Bereichen war aufgrund des geringen Gefährdungspotentials sowohl für Fremd- als auch Eigenpersonal nur die amtliche Dosimetrie erforderlich. Die ermittelten nichtamtlichen Dosiswerte wurden beim Verlassen des Forschungszentrums in den Strahlenpass des Fremdfirmenmitarbeiters eingetragen. War der Fremdfirmenmitarbeiter in Kontrollbereichen ohne Erfordernis einer Betreiberdosimetrie eingesetzt, so wurde dies an der entsprechenden Stelle des Strahlenpasses vermerkt.

Waren Fremdfirmenmitarbeiter von Zwischenfällen betroffen, die eine Inkorporationsüberwachungsmaßnahme erforderlich machten, wurde ihren jeweiligen Arbeitgebern das Ermittlungsergebnis und die daraus eventuell resultierenden Körperdosen mitgeteilt.

Außerdem erhält jede Fremdfirma eine Jahresübersicht über die im Kalenderjahr in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums Karlsruhe erhaltenen nichtamtlichen Dosen ihrer im Forschungszentrum Karlsruhe beschäftigten Mitarbeiter. Neben diesen routinemäßigen Mitteilungen an die Fremdfirmen, übernimmt HS-TBG als Kontaktstelle in allen Fragen des Strahlenschutzes auch die aus den Abgrenzungsverträgen resultierenden Informationspflichten des Forschungszentrums gegenüber diesen Fremdfirmen und den jeweils zuständigen Behörden.

Die Erfordernisse für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Fremdfirmen, die in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums tätig werden, aber keiner Genehmigung nach § 15 StrlSchV bedürfen, sind in den Kapiteln 5.2.4.2 und 5.2.5.3 ausgeführt.

5.2.5.2 Personal des Forschungszentrums Karlsruhe in Strahlenschutzbereichen fremder Anlagen oder Einrichtungen

Das Forschungszentrum Karlsruhe ist auch im Besitz einer eigenen Genehmigung nach § 15 StrlSchV, damit beruflich strahlenexponierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Forschungszentrums in fremden Anlagen oder Einrichtungen tätig werden können. Mit insgesamt 49 Betreibern hat das Forschungszentrum Karlsruhe den gemäß dieser Genehmigung erforderlichen Abgrenzungsvertrag abgeschlossen.

Zur Durchführung der Genehmigung und zur Wahrnehmung der Aufgaben und Pflichten hinsichtlich des Strahlenschutzes bei der Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen, wurden zentral bei HS-TBG Strahlenschutzbeauftragte bestellt. Für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Forschungszentrums, die nach § 15 StrlSchV tätig werden, wurden die zu beachtenden Strahlenschutzregelungen in einer Strahlenschutzanweisung des Sicherheitsbeauftragten festgelegt. Diese werden ihnen vor ihrem Einsatz in der fremden Anlage oder Einrichtung ausgehändigt.

HS-TBG ist außerdem für die Registrierung und das Führen der erforderlichen Strahlenpässe des beruflich strahlenexponierten Personals des Forschungszentrums zuständig.

Die in der fremden Anlage oder Einrichtung erhaltenen Dosen werden außerdem im Personendosisregister dokumentiert. Von den derzeit zur Strahlenschutzüberwachung angemeldeten Personen besaßen zum Jahresende 2007 142 einen Strahlenpass, wobei im Jahr 2007 23 Strahlenpässe neu zu registrieren waren.

5.2.5.3 Strahlenpassstelle

Fremdfirmenmitarbeiterinnen und -mitarbeiter, die als beruflich strahlenexponierte Personen im § 15 Genehmigungsumfeld Strahlenschutzbereiche des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH betreten wollen, müssen sich mit ihrem gültigen, vollständig ausgefüllten Strahlenpass und ihrem amtlichen Dosimeter in der zentralen Strahlenpassstelle des Forschungszentrums anmelden. Sofern die Zugangsvoraussetzungen erfüllt sind (gültige Genehmigung, gültiger Abgrenzungsvertrag, keine Dosisüberschreitungen, erforderliche arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen, gültiger und vollständig ausgefüllter Strahlenpass usw.) werden sie im zentralen EDV-Programm angemeldet. Abhängig vom Einsatzort kann dann zunächst eine Eingangs-Inkorporationsmessung im Bodycounter erforderlich sein. Danach erfolgt die Anmeldung beim örtlichen Strahlenschutz des jeweiligen Bereiches. Die Strahlenpässe verbleiben während des Einsatzes in der Strahlenpassstelle des Forschungszentrums.

Erstreckt sich der Einsatz von Fremdfirmenmitarbeiterinnen und -mitarbeitern über einen längeren Zeitraum, so werden die Strahlenpässe auf Verlangen der Fremdfirma für Nachtragungen ausgehändigt. Der Status des Strahlenpasses (ausgehändigt oder im Archiv des Forschungszentrums) wird in der EDV erfasst. Im Berichtszeitraum wurden über 1 709 mal Strahlenpässe zur Aktualisierung kurzfristig an Fremdfirmen ausgegeben und nach Rückgabe wieder in das Archiv übernommen.

Abhängig vom Einsatzort kann vor der Abmeldung noch eine Ausgangs-Inkorporationsmessung im Bodycounter erforderlich sein. Spätestens bei der Abmeldung wurden in sämtliche Strahlenpässe des im Forschungszentrum Karlsruhe tätigen beruflich strahlenexponierten Fremdfirmenpersonals die bei der Tätigkeit ermittelten nichtamtlichen externen Dosen sowie die aus durchgeführten Inkorporationsüberwachungsmaßnahmen resultierenden Dosiswerte eingetragen. Sofern diese Werte beim Verlassen des Forschungszentrums noch nicht vorlagen, wurden sie den Firmen schriftlich nachgereicht.

Auch Fremdfirmenmitarbeiterinnen und -mitarbeiter, die als nicht beruflich strahlenexponierte Personen im Sinne der Strahlenschutzverordnung Strahlenschutzbereiche des Forschungszentrums Karlsruhe betreten, müssen sich über die zentrale Strahlenpassstelle anmelden. Sie müssen dabei eine Bestätigung ihres Arbeitgebers vorlegen, in der bescheinigt wird, dass sie keine beruflich strahlenexponierte Personen im Sinne des § 54 StrlSchV sind und die Angaben zu einer eventuellen Vordosis im laufenden Kalenderjahr enthalten muss. Danach erfolgt die Anmeldung beim Strahlenschutz vor Ort, wo sie ein elektronisches nichtamtliches Dosimeter erhalten. Nicht beruflich strahlenexponierte Personen halten sich in der Regel nur kurze Zeit in Strahlenschutzbereichen auf. Nach der Abmeldung in der Strahlenpassstelle erhält die Fremdfirma eine Dosisbescheinigung über die in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums Karlsruhe erhaltene Körperdosis ihres Mitarbeiters.

Im Jahr 2007 wurden insgesamt 763 Anmeldungen in der zentralen Strahlenpassstelle durchgeführt, wovon 124 Mehrfach-Anmeldungen waren. Des Weiteren wurden im Laufe des Jahres 2007 insgesamt 795 Abmeldungen verbucht.

Von den 818 Fremdfirmenmitarbeiterinnen und -mitarbeitern, die von insgesamt 203 Firmen im Jahre 2007 in der Strahlenpassstelle angemeldet waren, waren 631 Personen im Rahmen einer Genehmigung nach § 15 StrlSchV in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums Karlsruhe. Während ihrer Beschäftigung konnten diese Personen in mehreren Bereichen des Forschungszentrums tätig sein. Insgesamt 141 Personen, die keine beruflich strahlenexponierten Personen im Sinne der StrlSchV waren, haben im Jahr 2007 Kontrollbereiche des Forschungszentrums betreten. 46 Personen verlangten als Sachverständige gemäß § 20 AtG oder als Aufsichtsbeamte Zutritt zu Kontrollbereichen des Forschungszentrums Karlsruhe.

5.2.6 Zentrale Buchführung radioaktiver Stoffe

A. Zieger

5.2.6.1 Kernmaterialbuchführung und Euratom-Aufsicht

Im Rahmen des internationalen Vertrags zur Nichtverbreitung von Kernwaffen hat sich die Bundesrepublik Deutschland verpflichtet, den Umgang mit Kernmaterial der Aufsicht von Euratom und IAEO zu unterstellen und die Bestimmungen der Euratom-Verordnung² anzuwenden. Daraus erwächst dem Forschungszentrum eine umfangreiche Buchführungs- und Berichtspflicht.

Die Begriffsbestimmungen der Euratom-Verordnung definieren als „Kernmaterial“ Erze, Ausgangs- und besonderes spaltbares Material. Darunter fallen Natururan, abgereichertes Uran und Thorium sowie Plutonium-239, Uran-233 und mit Uran-235 oder Uran-233 angereichertes Uran. Diese Kernmaterialien werden in sechs Kategorien eingeteilt, für die getrennte Buchungen in den Bestandsänderungsberichten und Aufstellungen des realen Bestandes auszuweisen und getrennte Materialbilanzberichte zu erstatten sind: abgereichertes Uran, Natururan, bis zu 20 % angereichertes Uran, über 20 % angereichertes Uran, Plutonium und Thorium.

Um Kernmaterialbewegungen innerhalb des Forschungszentrums Karlsruhe erfassen zu können, wurden die in Frage kommenden Betriebsstätten von Euratom in verschiedene Materialbilanzzonen (MBZ) eingeteilt. Der größere Teil dieser MBZ gilt als abgeschaltet, hier sind keine Bestände an Kernmaterial mehr vorhanden. Am Jahresende 2007 wurden nur noch die beiden MBZ WKKE und WWW aktiv genutzt. Weiterhin wird von Euratom die Abgabe von Kernmaterial als Abfall an die Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe kontrolliert und bilanziert. Die Organisationseinheiten des Forschungszentrums melden monatlich alle Bestands- und Chargenänderungen an die zentrale Buchführung bei HS-TBG, wo die Meldungen anhand von Lieferscheinen geprüft und in die EDV aufgenommen werden. Im Jahr 2007 waren 23 Änderungen zu bearbeiten. Zur Erfassung der Daten steht eine Buchführungs-Software mit einer ACCESS-Datenbank zur Verfügung, die in Zusammenarbeit mit HS-ZA entwickelt wurde. Daraus werden die monatlichen Mitteilungen gemäß § 70 Abs. 1 Ziffer 1 StrlSchV an UM und RP-KA erstellt. Zur Übermittlung von Meldungen an Euratom wird von Euratom eine spezielle Software im Internet bereitgestellt, die heruntergeladen und auf einem lokalen Rechner installiert werden muss. Das Programm „Enmas Light“ erzeugt die Berichte in dem von Euratom geforderten Format (xml-files mit CRC-Kontrollsummen).

Im Jahr 2007 hat die Direktion Nuklearinspektion von Euratom, Luxemburg, meist zusammen mit der IAEO, Wien, im Forschungszentrum Karlsruhe zwölf Inspektionen durchgeführt. Ende Mai wurde bei HDB sowie bei ITP-TLK eine Anlagenbegehung mit stichprobenartiger physikalischer Kontrolle des Bestands und eine Buchprüfung durch Euratom alleine durchgeführt. Ende Juni folgte die gewohnte Inspektion durch Euratom und IAEO, die aufgrund von Artikel 72 des Übereinkommens zwischen IAEO/Euratom und von Artikel 81 Abs. 2 des Euratomvertrages stattfindet. Dabei wurde in der MBZ WKKE, Anlage INE, eine Buchprüfung und eine Anlagenbegehung mit physikalischer Bestandskontrolle (Sichtprüfung und stichprobenartiges Ausmessen einzelner Chargen) durchgeführt. Zur Verifikation des Status „Decommissioned“ wurden Ende August Inspektionen bei HAP-KNK (MBZ WKNK), IMK-AAF als Nachfolgenutzer des Gebäudes 322, dem ehemaligen Standort des Versuchsreaktors STARK (MBZ WSRK), und bei der

² Verordnung (Euratom) Nr. 302/2005 der Kommission vom 8. Februar 2005 über die Anwendung der Euratom-Sicherungsmaßnahmen, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 54

Firma Goraieb Versuchstechnik, welche die Gebäude 453 und 454 gemietet hat, in denen einst die Versuchsanordnung SUAK des INR (MBZ WSUK) untergebracht war, vorgenommen. Ende September hat die IAEO, zusammen mit Euratom, aufgrund der erweiterten Zutrittsmöglichkeiten gemäß Artikel 5 des Zusatzprotokolls zum Verifikationsabkommen (INFCIRC/193/Add.8) eine Inspektion des vom Forschungszentrum Karlsruhe deklarierten Standortes (SDFKAR2) durchgeführt, wovon Gebäude 551 im Betriebsbereich der HDB, die Gebäude 712 und 714 des INE und das Gebäude 701 des IMF II - FML betroffen waren. Am selben Tag wurde auch eine Inspektion aufgrund von Artikel 72 des Übereinkommens zwischen IAEO/Euratom und von Artikel 81 Abs. 2 des Euratomvertrages bei IFP (MBZ WWW) mit einer Anlagenbegehung und physikalischer Kontrolle des Bestands durchgeführt. Mitte November wurden nochmals Inspektionen zur Verifikation des Status „Decommissioned“ bei HAP-MZFR (MBZ WMZF) und bei BTI-FR II (MBZ WF2K) durchgeführt. Mittlerweile hat die IAEO den Status der Anlage KNK als „Decommissioned“ (endgültig stillgelegt) bestätigt.

5.2.6.2 Buchführung sonstiger radioaktiver Stoffe

Aufgrund der sich aus der Strahlenschutzverordnung und aus behördlichen Auflagen ergebenden Buchführungs- und Mitteilungspflichten muss das Forschungszentrum im Laufe eines Jahres regelmäßig eine Vielzahl von Berichten und Anzeigen erstellen und den jeweils zuständigen Behörden übersenden. Hauptsächlich muss gemäß § 70 StrlSchV den zuständigen Behörden Gewinnung, Erzeugung, Erwerb, Abgabe und sonstiger Verbleib von radioaktiven Stoffen monatlich, der Bestand an radioaktiven Stoffen mit Halbwertszeiten von mehr als 100 Tagen jährlich mitgeteilt werden. Hierzu sind entsprechende Meldungen der Strahlenschutzbeauftragten der einzelnen Organisationseinheiten an HS-TBG erforderlich, die hier bearbeitet, geprüft und rechnergestützt erfasst werden, bevor die zusammenfassenden Mitteilungen an die Behörden versandt werden können.

Für die Buchführung wurde das Programm BURAST (Buchführung Radioaktiver Stoffe) von HS entwickelt und von einer externen Firma als Web-Anwendung mit einer SQL-Datenbank programmiert. Seit 2004 werden sowohl die jährlichen als auch die monatlichen Mitteilungen an die Behörden aus diesem Programm erstellt. Alle Ein- und Ausgänge von radioaktiven Stoffen werden entweder durch die Zentralbuchhalter bei HS-TBG oder durch die Strahlenschutzbeauftragten der Organisationseinheiten und deren Mitarbeiter, die sog. OE-Buchhalter, in BURAST gebucht. Bisher wurden rund 1 300 Positionen umschlossener und 2 690 Positionen offener radioaktiver Stoffe in BURAST erfasst. Der aktuelle Bestand liegt bei ca. 730 bzw. 890 Positionen. In enger Zusammenarbeit zwischen HS-TBG und HS-ZA wird ständig weiter an Erweiterungen und Verbesserungen des Programms gearbeitet, welche z. T. selbst vorgenommen werden können bzw. bei der externen Firma in Auftrag gegeben werden. Im Berichtszeitraum wurden eine Programmerweiterung zur Berücksichtigung der Besonderheiten (Meldung, wiederkehrende Prüfung) bei Hochradioaktiven Strahlenquellen (HRQ) realisiert und einige kleinere Änderungswünsche umgesetzt sowie spontan aufgetretene Probleme behoben.

Die in BURAST gespeicherten Daten bilden gleichzeitig die Grundlage für die Terminüberwachung der Wiederholungsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen. Gemäß § 66 StrlSchV in Verbindung mit der „Richtlinie über Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen vom 04.02.2004“ ist in der Regel jährlich eine Dichtheitsprüfung durchzuführen. Die Wiederholungsprüfungen können entfallen oder in größeren Zeitabständen durchgeführt werden, sofern bestimmte Bedingungen aus der o. g. Richtlinie erfüllt sind. Wird hiervon Gebrauch gemacht, so ist der Freistellungsgrund in der Jahresmeldung zu vermerken. Die Daten der umschlossenen Stoffe werden von HS-TBG oder den SSB in BURAST eingegeben, die Dichtheitszertifikate der Hersteller werden bei HS-TBG archiviert und eingescannt, um sie als pdf-Files in der Anwendung direkt aufrufen zu können. Die Feststellung der Erforderlichkeit sowie die Festlegungen zur Wiederholungsprüfung selbst werden durch HS-ÜM getroffen. Auf-

grund eines Bescheids des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 13.11.2006 ist nach § 66 Abs. 4 StrlSchV die Dichtheit umschlossener radioaktiver Stoffe, die im Besitz des Forschungszentrums sind, mit Ausnahme Hochradioaktiver Strahlenquellen (HRQ), durch HS-ÜM zu prüfen. Im Jahr 2007 wurden 102 Strahler durch HS-ÜM und neun weitere Strahler durch den TÜV geprüft. Es wurden keine Undichtigkeiten festgestellt.

5.2.6.3 Buchführungs- und Berichtspflicht der gemäß § 29 StrlSchV freigegebenen Stoffe

Gemäß § 70 Abs. 2 und 3 StrlSchV ist über die Stoffe, für die eine wirksame Feststellung nach § 29 Abs. 3 Satz 1 getroffen wurde (Freigabe), Buch zu führen und die Masse dieser Stoffe der zuständigen Behörde jährlich mitzuteilen. Das Forschungszentrum erhielt seinen ersten Freigabe-Bescheid im Juni 2004. HS-TBG führt Buch über die seitdem getroffenen Freigabe-Feststellungen und erstattet die erforderliche Jahresmitteilung an die Behörde. Inzwischen wurden dem Forschungszentrum insgesamt acht Freigabebescheide erteilt, von denen vier bereits abgearbeitet und somit wieder erloschen sind.

Im Jahr 2007 wurden 253 Chargen intern zur Freigabe nach § 29 StrlSchV angemeldet. 132 Chargen, die z. T. schon im Vorjahr intern angemeldet worden waren, wurden bei Behörde und Gutachter angemeldet und gem. § 29 StrlSchV freigegeben.

Die buchführungs- und meldepflichtige Masse der freigegebenen Stoffe beläuft sich in 2007 auf insgesamt rund 358 Mg. Davon entfallen auf die uneingeschränkte Freigabe von festen Stoffen etwa 255 Mg (71 %) und von flüssigen Stoffen ca. 3,6 Mg (1 %). Auf die zweckgerichtete Freigabe von festen Stoffen, d. h. Abfälle die auf eine Sondermülldeponie gebracht werden, entfallen rund 99 Mg (28 %).

In Tab. 5-3 ist die Art, die Anzahl und die Bezeichnung der Empfänger der Berichte, die im Rahmen der zentralen Buchführung radioaktiver Stoffe und nach § 29 StrlSchV freigegebener Stoffe sowie aufgrund der Verpflichtungen gegenüber Euratom erstellt werden, in übersichtlicher Form wiedergegeben.

Art der Berichte	Anzahl der Berichte pro Empfänger				Gesamtzahl
	Euratom	Umweltministerium Baden-Württ.	Regierungs-Präsidium Karlsruhe	Sonstige Behörden	
Monatsberichte					
- Erwerb, Erzeugung und Abgabe radioaktiver Stoffe		19	12	5	36
- Bestände und Bestandsänderungen von Kernmaterial	12	(12)		(12)	12
- Erwerb und Abgabe von Tritium kanad. Ursprungs	12				12
Jahresberichte					
- Bestand an offenen und umschlossenen radioaktiven Stoffen incl. Kernmaterial		1	1	1	3
- Masse der Stoffe, für die eine wirksame Feststellung nach § 29 StrlSchV getroffen wurde (Freigabe)		1			1
- Wiederkehrende Prüfungen an umschlossenen Stoffen		1	(1)		1
- Zugang, Abgabe (§9a AtG) und Bestand radioaktiver Reststoffe in HDB-Zwischenlagern		1	(1)		1
- Bestand an Schwerwasser amerik./kanad. Ursprungs	1				1
- Verzeichnis der Ausrüstungsgegenstände, die dem Abkommen Euratom/Kanada unterliegen	1				1
- Kernmaterialeingänge und Neubewertungen (HDB)	1				1
- Versand, Eingang und Ortsveränderung von konditioniertem Abfall gem. Artikel 32 der Verordnung (Euratom) 302/2005	1				1
- Materialbilanzberichte und Aufstellung des realen Bestandes an Kernmaterial	1				1
- Tätigkeitsprogramme	1				1
Insgesamt	31	35	15	18	73

Tab. 5-3: Umfang der Berichterstattung im Jahr 2007. (Berichte, die nur zusätzlich in Kopie an einen weiteren Empfänger verschickt wurden, wurden bei der Summation über alle Empfänger außer Acht gelassen.)

5.2.7 Transport radioaktiver Stoffe

A. Zieger

Zur Durchführung von Transporten radioaktiver Stoffe innerhalb des Forschungszentrums hat das Umweltministerium Baden-Württemberg (UM) im Jahr 1994 eine Genehmigung nach § 9 des Atomgesetzes erteilt. Diese Genehmigung ist mit verschiedenen Auflagen verbunden, so zum Beispiel mit der Einhaltung der internen Transportordnung des Forschungszentrums (ITO), der schriftlichen Anzeige von Transporten der Kategorie S vor deren Durchführung, der Dokumentation der Transporte nach den Kategorien R und S an zentraler Stelle zur Einsicht, der Durchführung eines Qualitätssicherungsprogramms vor dem jeweiligen Erst- und Wiedereinsatz von Transportbehältern sowie dem Führen einer autorisierten Behälterliste und einer Liste der durchgeführten wiederkehrenden Prüfungen.

Der Geltungsbereich der ITO erstreckt sich auf den Transport radioaktiver Stoffe zwischen den Organisationseinheiten mit eigenen atomrechtlichen Genehmigungen innerhalb des gesamten Geländes des Forschungszentrums, unabhängig vom Durchführenden des Transportes, sowie auf alle fremden Genehmigungsinhaber auf dem Gelände. Es werden drei Transportkategorien unterschieden:

- R-Transporte: Transporte, die mit Behältern, die in der autorisierten Behälterliste aufgeführt und dort für diese Stoffe hinsichtlich Aktivität und Aggregatzustand vorgesehen sind, durchgeführt werden
- F-Transporte: Transporte, die aufgrund des geringen Gefährdungspotenzials von einigen Regelungen der ITO freigestellt sind
- S-Transporte: Transporte, die weder als R- noch als F-Transporte durchgeführt werden können und jeweils der Aufsichtsbehörde vorher angezeigt werden müssen.

Die schriftliche Anzeige an die Aufsichtsbehörde erfolgt durch den Abgeber der radioaktiven Stoffe, der auch für die Verpackung und Festlegung der Kategorie verantwortlich ist. Eine Kopie dieser Anzeige zusammen mit der in jedem einzelnen Fall anzufertigenden Sicherheitsbetrachtung wird bei HS-TBG auflagentgemäß zur jederzeitigen Einsicht zur Verfügung gehalten. Desgleichen werden auch die Kopien bzw. Durchschläge der Transportbegleitpapiere der R-Transporte, die der Transporteur direkt nach der Durchführung an HS-TBG sendet, zur Einsicht abgelegt. Im Jahr 2007 wurden 5 S-Transporte sowie 114 R- und F-Transporte an HS-TBG gemeldet. Die Transporte von Reststoffen zur HDB werden dort dokumentiert und sind deshalb hier nicht mitgerechnet. HS-TBG erhält aber die Kopien der Reststoffbegleitscheine zur Information. Die Transportbegleitpapiere dienen zur Dokumentation des tatsächlichen Überganges der radioaktiven Stoffe von einem Verantwortungsbereich in einen anderen. Der Abgeber bestätigt darauf auch mit seiner Unterschrift, dass die erforderlichen wiederkehrenden Prüfungen des Transportbehälters durchgeführt und dabei keine Mängel festgestellt wurden.

Zur Erfassung aller im Forschungszentrum verfügbaren Transportbehälter wird bei HS-TBG auflagentgemäß die autorisierte Behälterliste geführt. Sie muss folgende Angaben enthalten: Behälternummer, Bezeichnung, Klassifizierung, Nummer der Prüfbescheinigung, zugelassener Inhalt, zugelassene Aktivitätsmenge und den Vermerk, ob diese Angaben prototypisch sind, oder für einzelne Behälter gelten. Zur Führung der Liste sind HS-TBG der Erwerb und die Inbetriebnahme nicht erfasster Behälter sowie die Beseitigung oder endgültige Außerbetriebnahme erfasster Behälter schriftlich anzuzeigen. Bei Aufnahme neuer Behälter in die Liste muss die verantwortliche Organisationseinheit bei HS-TBG Prüfbescheinigungen, Prüfanweisungen, Zeichnungen und Farbfotos vorlegen. Im Jahr 2007 wurden drei neue Transportbehälter des IMF II - FML in die Behälterliste der ITO aufgenommen und dies auflagentgemäß durch HS-TBG an die Behörde gemeldet. Zurzeit sind über 13 600 Transportbehälter in der autorisierten Behälterliste

erfasst. Sie werden allerdings nicht alle einzeln aufgeführt sondern können auch in Gruppen zusammengefasst werden, so dass sich die Gesamtzahl der Einträge auf etwa 200 beläuft.

Die wiederkehrenden Prüfungen der Transportbehälter erfolgen durch einen dazu qualifizierten Prüfer bei BTI-F oder einen externen Prüfer, wie z. B. den TÜV. Die Terminverfolgung wird von HS-TBG durchgeführt, mit Hilfe der Funktionen in der elektronisch geführten Behälterliste. Die Pflege dieser elektronischen Liste, d. h. Einstellen neuer Behälter und aktueller Prüfbescheinigungen, Terminabfragen, Stilllegung beseitigter Behälter etc. obliegt allein HS-TBG.

5.3 Verpflichtungen aufgrund des Verifikationsabkommens zur Kernmaterialüberwachung und des Zusatzprotokolls zum Verifikationsabkommen

R. Hüfner, A. Zieger

Die Bundesrepublik Deutschland ist, wie andere westeuropäische Staaten auch, dem Vertrag über die Nichtweiterverbreitung von Kernwaffen beigetreten und hat sich in einem Übereinkommen (Verifikationsabkommen) zwischen den Nichtkernwaffenstaaten der Europäischen Atomgemeinschaft, der Europäischen Atomgemeinschaft (Euratom) und der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) verpflichtet, Kontrollmaßnahmen der IAEO bezüglich des Bestandes und der Verwendung spaltbarer Kernmaterialien (U, Th, Pu) zu dulden.

Aufgrund der Bestrebungen einiger Schwellenländer, Kernwaffen zu entwickeln, sind die im Verifikationsabkommen gebundenen Länder im Rahmen eines Zusatzprotokolls zum Verifikationsabkommen übereingekommen, die Kontrollen der IAEO zu intensivieren, um dieser Entwicklung entgegen zu steuern.

Am 30.04.2004 trat dieses Zusatzprotokoll in Kraft, aufgrund dessen das Forschungszentrum Karlsruhe GmbH als Zusatzverpflichteter der IAEO über die Kommission der Europäischen Gemeinschaften (EURATOM-Direktorat TREN H) eine Beschreibung des Standortes (Anlagen, betriebliche Einrichtungen und Forschungsinstitute im Zusammenhang mit dem Kernbrennstoffkreislauf) übermitteln musste. Diese Beschreibung muss jährlich aktualisiert werden.

Änderungen gegenüber dem Vorjahr ergaben sich bei der Nutzung von Gebäuden des INE im Bereich der HDB, durch den Abriss bzw. Neubau von Gebäuden im Betriebsbereich der HDB und durch den weiteren Abbau von Versuchseinrichtungen im IMF-II-FML (Heiße Zellen). Bezüglich der Ortsveränderung konditionierten Abfalls wurde sowohl über Materialein- als auch -ausgänge berichtet. Die Materialausgänge bestanden in der Rücksendung von Abfällen, die bei der HDB konditioniert wurden, an die externen Verursacher. Die Materialeingänge sind auf eine Absprache mit Euratom Luxemburg zurückzuführen, um Materialien, die vor in Kraft treten der Euratomverordnung 302/2005 als „Gemessener Abfall“ aus der Kernmaterialüberwachung entlassen, aber erst nach dem in Kraft treten dieser Verordnung - die Materialkategorie „Gemessener Abfall“ wurde dabei gestrichen - an HDB geliefert wurden, in der Materialbilanz der HDB erfassen zu können.

Die Abb. 5-1 zeigt einen Ausschnitt aus dem Generalbebauungsplan, der sich auf die so genannte „site map“ beschränkt, mit den Änderungen im Gebäudebestand bzw. der Gebäudenutzung.

BTI-B sei an dieser Stelle für die Unterstützung bei der Planerstellung gedankt.

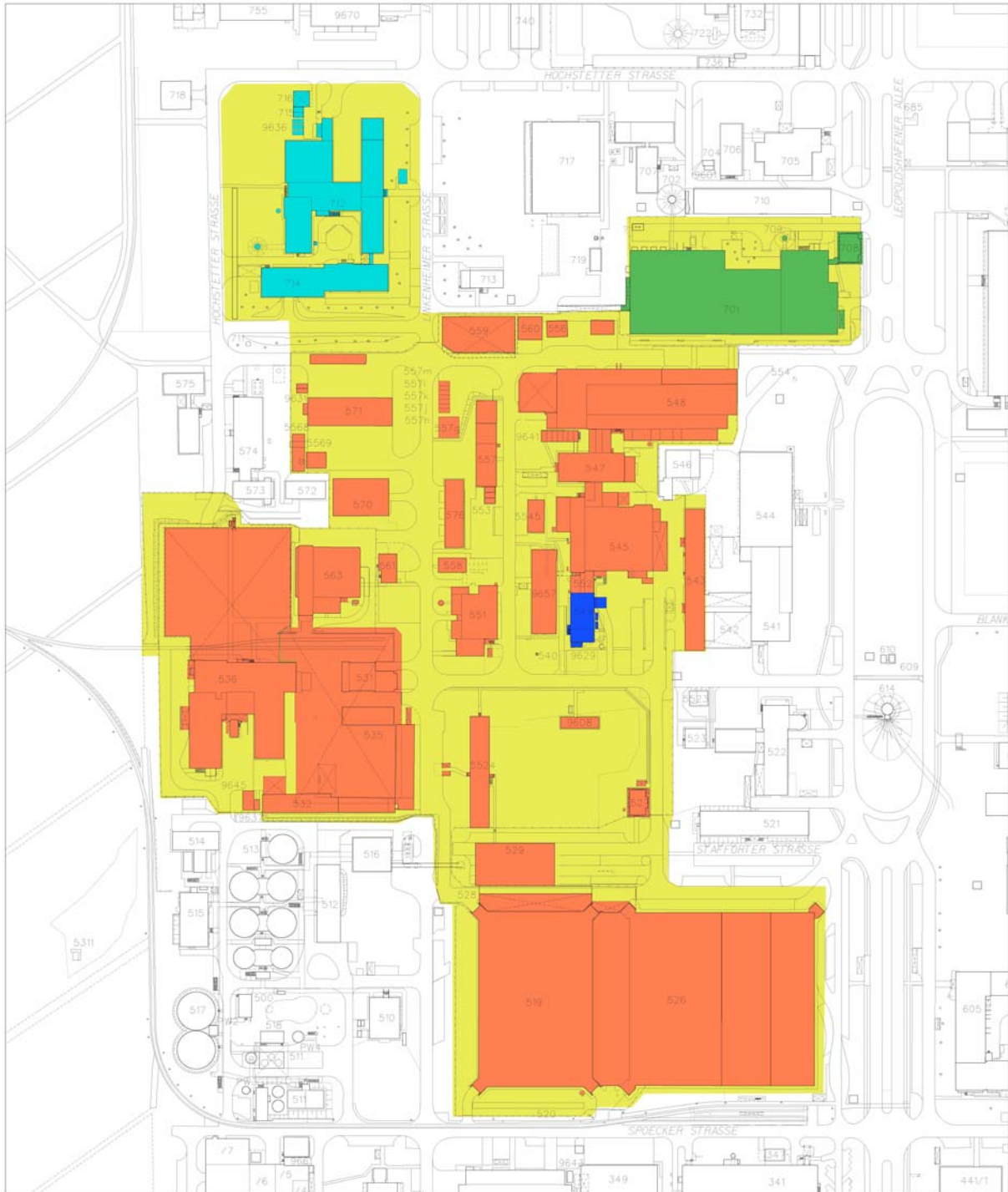


Abb. 5-1: Ausschnitt aus dem Generalbebauungsplan mit dem „Standort“ SDFKAR2

5.4 Meldepflichtige Ereignisse nach Strahlenschutzverordnung

Nach § 51 StrlSchV ist der Eintritt eines Unfalles, eines Störfalles oder eines sonstigen sicherheitstechnisch bedeutsamen Ereignisses der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde unverzüglich mitzuteilen. Die Vorgehensweise zur Unterrichtung der atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden über Vorkommnisse im Forschungszentrum Karlsruhe sind in einer „Melde- und Informationsregelung“ festgelegt.

Im Jahr 2007 wurde den Aufsichtsbehörden kein sicherheitstechnisch bedeutsames Ereignis der Meldestufen I oder II gemeldet.

Sechs Vorkommnisse, die von besonderem Interesse für das Umweltministerium Baden-Württemberg sowie für das Regierungspräsidium Karlsruhe als atomrechtliche Aufsichtsbehörden sein könnten, wurden als Meldungen der Meldestufe „INFO“ übermittelt.

5.5 Operationeller Strahlenschutz

H. Dilger

Die Aufgaben des operationellen Strahlenschutzes umfassen die Bereitstellung von Strahlenschutzpersonal einschließlich der Messgeräte zur Durchführung der Arbeitsplatzüberwachung, der Messungen nach § 44 StrlSchV zur Wiederverwendung und der Freigabemessungen nach § 29 StrlSchV vor Ort (siehe Kap.5.6).

Die Gruppen Arbeitsplatzüberwachung Forschung und Arbeitsplatzüberwachung Stilllegung unterstützen die Strahlenschutzbeauftragten in der Wahrnehmung ihrer Pflichten gemäß Strahlenschutz und/oder Röntgenverordnung. Der Umfang der Zusammenarbeit ist teilweise in Abgrenzungsregelungen zwischen der Hauptabteilung Sicherheit und den entsprechenden Institutionen/Organisationseinheiten festgelegt. Vier Mitarbeiter der Abteilung nehmen Aufgaben als Strahlenschutzbeauftragte für Teilbereiche im MZFR und in der KNK wahr.

5.5.1 Arbeitsplatzüberwachung

A. Reichert, B. Reinhardt

Bedingt durch die Aufgabenstellung sind die Mitarbeiter der Arbeitsplatzüberwachung dezentral in den einzelnen Bereichen des Forschungszentrums tätig. Nach der räumlichen Lage der zu überwachenden Gebäude gliedern sich die zwei Gruppen in die vier Bereiche „Institute“, HDB, MZFR und KNK (siehe Abb. 5-2 und Tab. 5-4). Im Berichtsjahr erfolgte der weitere Rückbau des IK- Zykl. Geb. 351, der mit intensiven Strahlenschutzkontrollen begleitet war.

5.5.2 Personendosimetrie

Eine wichtige Aufgabe für die Arbeitsplatzüberwachung ist die Durchführung der Personendosimetrie. Neben einem amtlichen Flachglas oder Albedodosimeter erhalten beruflich strahlenexponierte Personen in den Anlagen der HDB, des IMF II-FML, des MZFR und der KNK ein selbstablesbares nicht persönlich zugeordnetes elektronisches Dosimeter. Neben der Personendosis kann mit diesem Dosimetriesystem auch die maximale Dosisleistung während eines Arbeitseinsatzes ermittelt werden. Weiterhin werden die elektronischen Dosimeter als Alarmdosimeter hinsichtlich Dosisleistung und Dosis verwendet. Die eingestellten Warnwerte werden der durchzuführenden Arbeit angepasst und betragen für die Dosisleistung zwischen 100 und 3000 $\mu\text{Sv/h}$ und für die Dosis zwischen 0,5 und 2 mSv. Die Anzahl der Personen einschließlich Fremdfirmenangehöriger, die strahlenschutzmäßig überwacht werden (Stichmonat Dezember 2007), ist in Spalte 4 der Tab. 5-4 aufgeführt.

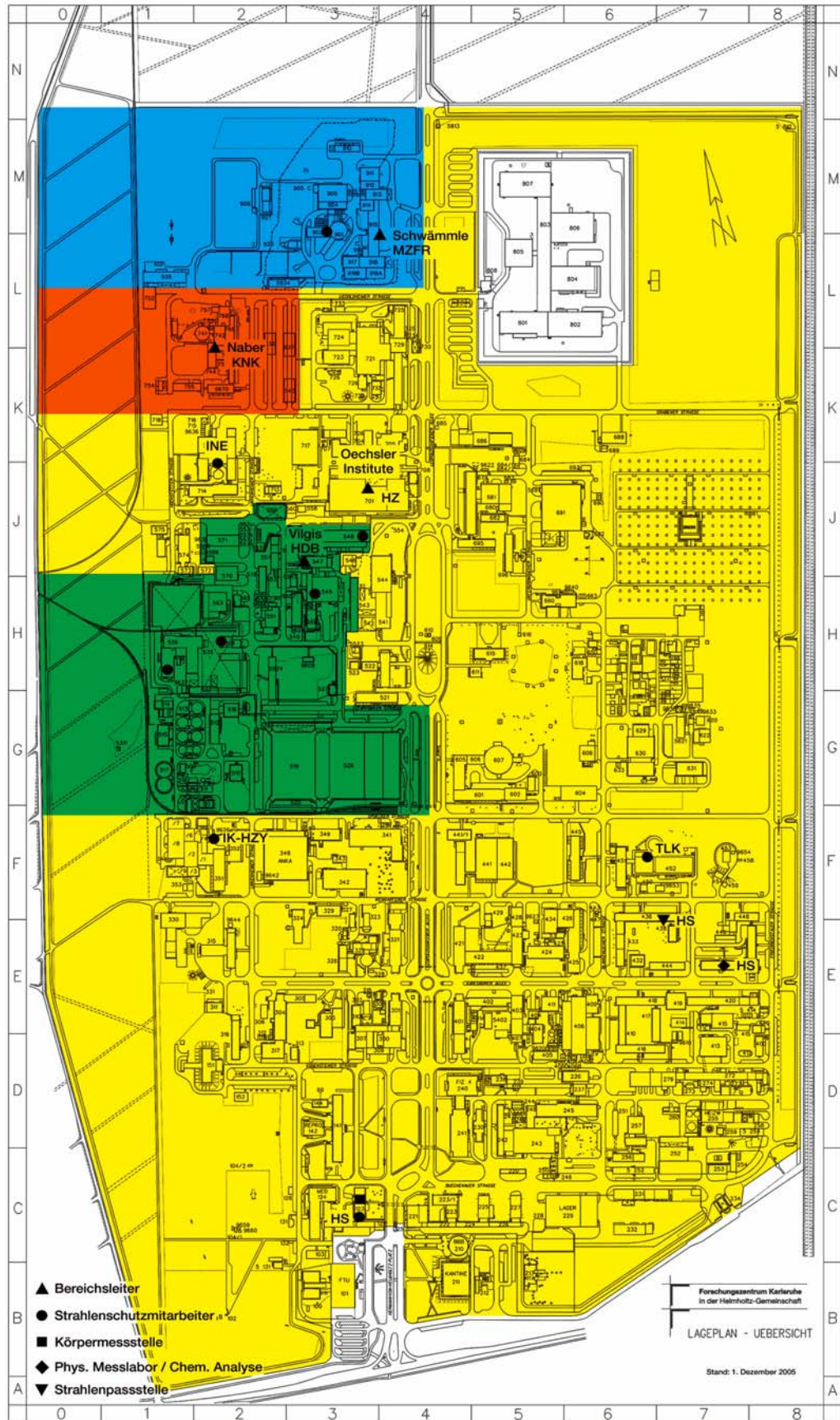


Abb. 5-2: Lageplan des Forschungszentrums Karlsruhe mit Bereichseinteilung

5.5.2.1 Kontaminationskontrollen

Die Gebäude und Anlagen werden routinemäßig durch Oberflächenkontaminations-, Wischproben- und Raumluftmessungen überwacht. Die Fläche der Überwachungs-, Kontroll- und Sperrbereiche ist in Spalte 5 der Tab. 2-1 angegeben.

Vom Überwachungsbereich werden nur die Bereiche aufgeführt, in denen eine Aktivität oberhalb der Freigrenze gehandhabt wird.

Die Kontaminationskontrolle von Personen am Ausgang von Bereichen, in denen genehmigungspflichtig mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, geschieht in Eigenüberwachung mit Hand-Fuß-Kleider-Monitoren oder in der HDB, in der KNK, im MZFR und im INE mit Ganzkörpermonitoren mit automatisiertem Messablauf. Die Alarmwerte werden gemäß den Vorgaben der SSK-Empfehlung „Anforderung an die Kontaminationskontrolle beim Verlassen eines Kontrollbereich“ eingestellt.

Die Raumlufte in den Kontrollbereichen von Institutionen mit höherem Aktivitätsinventar, das sind die HDB, der MZFR, die KNK und das INE, wird mit einem Netz von stationären Aerosolsammlern und an Arbeitsplätzen, an denen eventuell mit Freisetzen zu rechnen ist, mit Monitoren überwacht.

Aus den Dosisgrenzwerten für beruflich strahlenexponierte Personen in den Anlagen des Forschungszentrums Karlsruhe werden die Interventionswerte allgemein für α -Aktivitätsgemische auf $0,04 \text{ Bq/m}^3$, für β -Aktivitätsgemische auf 40 Bq/m^3 festgelegt. Diese Werte sind abgeleitet aus der alten Strahlenschutzverordnung und werden auf dem seitherigen niedrigen Niveau belassen, obwohl die Dosiskoeffizienten nach der neuen Strahlenschutzverordnung für α -Strahler geringer sind als nach der alten Strahlenschutzverordnung. Im Tritiumlabor und im Fusionsmateriallabor, in denen mit HTO umgegangen wird, werden die Interventionswerte für HTO auf 1 MBq/m^3 festgelegt.

Bei Raumlufteaktivitätskonzentrationen oberhalb dieser Interventionswerte dürfen Arbeiten in den betroffenen Anlagen des Forschungszentrums nur mit Atemschutzfiltergeräten und den entsprechenden Filtern (für Aerosole Typ P3, für Tritium als Wasserdampf Typ K2 (für 1h)) durchgeführt werden. Oberhalb des 20fachen der abgeleiteten Interventionswerte muss im Falle von aerosolförmigen Raumlufteaktivitäten mit Atemschutzisoliergeräten, bei Tritium mit fremdbelüfteten gasdichten Schutzanzügen, oberhalb des 200fachen dieser Werte allgemein mit fremdbelüfteten, gasdichten Schutzanzügen gearbeitet werden.

Gruppe	<u>Bereich</u> Überwachte Institutionen	Anzahl der Mitarbeiter der Abteilung Strahlenschutz	Anzahl der überwachten Personen Stichmonat Dezember	Fläche des überwachten Bereichs in m ²	Anzahl der Arbeitserlaub- nisse Strahlen- schutz
1	2	3	4	5	6
Arbeitsplatz- überwachung Forschung	Gruppenleiter	1 (1)			
	<u>Institute</u> ANKA, BTI, , FTU, HS, IK-TL, IFP, IHM, IK, IK-Zyk, IMFII- FML, INE, ITC- CPV, ITG	11,0 (11,5)	365 (403)	24900 (25100)	374 (326)
Arbeitsplatz- überwachung Stilllegung	Gruppenleiter	1 (1)			
	<u>HDB</u>	12+4 ⁺ (12+4 ⁺)	496 (531)	42200 (42200)	871 (831)
	<u>MZFR</u>	5 (5)	136 (61)	4950 (4950)	441 (344)
	<u>KNK</u>	2+1 ⁺ (2+1 ⁺)	70 (86)	2100 (2100)	404 (463)

Tab. 5-4: Anzahl der HS-Mitarbeiter in der Arbeitsplatzüberwachung, strahlenschutzmäßig überwachte Personen (einschließlich Fremdfirmenangehörigen), und Bereichsgröße jeweils Stand Dezember 2007 bzw. Anzahl der Arbeitserlaubnisse im Jahr 2007 (Vorjahreszahlen in Klammern)

Falls die Messungen in einem Raum ergeben, dass ein Interventionswert im Tagesmittel überschritten ist, werden Nachforschungen über die tatsächliche Arbeitsdauer und die getroffenen Atemschutzmaßnahmen angestellt und die individuelle Aktivitätszufuhr der Mitarbeiter in diesem Raum bestimmt. Dabei kommt für Atemschutzfiltergeräte ein Schutzfaktor von 20 und für Atemschutzisoliergeräte ein Schutzfaktor von 200 zur Anrechnung. Wenn die so bestimmten Aktivitätszufuhren den abgeleiteten Tageswert von 1,6 Bq für α -Aktivitätsgemische (Leitnuklid Pu-239 löslich) oder von 1,7 kBq für β -Aktivitätsgemische (Leitnuklide Sr-90 löslich) oder von 2,8 MBq für Tritium (als Wasserdampf) überschreiten, entsprechend einer effektiven Dosis von 0,05 mSv, werden bei den betroffenen Mitarbeitern Inkorporationsmessungen aus besonderem Anlass durchgeführt und eine spezielle Abschätzung der Aktivitätszufuhr vorgenommen.

5.5.2.2 Arbeitserlaubnisse Strahlenschutz

Die Mitarbeiter der Gruppen Arbeitsplatzüberwachung kontrollieren auf Anforderung des zuständigen Strahlenschutzbeauftragten die Durchführung von Arbeiten mit erhöhtem Kontaminations- oder Strahlenrisiko. Autorisierte Mitarbeiter legen bei der Ausstellung von Arbeitserlaubnissen die Strahlenschutzauflagen fest. Im Jahr 2007 wurden insgesamt ca. 2100 Vorgänge (Vorjahr 2000) bearbeitet, eine Aufteilung auf die Bereiche ist der Spalte 6 von Tab. 2-1 zu entnehmen.

5.5.2.3 Schichtdienst und Rufbereitschaft

Die Abteilung Strahlenschutz unterhält von Montag bis Freitag einen Zweischichtdienst, der auch außerhalb der Regelarbeitszeit u. a. Messungen von Raumluftfiltern durchführt, die Überprüfung von Meldungen vornimmt, in Zwischenfallsituationen Strahlenschutzmaßnahmen ergreift oder Transportkontrollen durchführt. Außerhalb der Regelarbeitszeit stehen zwei Rufbe-

reitschaften zur Verstärkung des Schichtdienstes oder zur alleinigen Klärung und Bewältigung von Zwischenfallsituationen zur Verfügung. Während der Regelarbeitszeit bilden Angehörige der Rufbereitschaft sowie zwei Personen eines Einsatzfahrzeuges den Strahlenmesstrupp für besondere Messaufgaben im Rahmen der Alarmorganisation des Forschungszentrums.

5.5.2.4 Aus- und Weiterbildung

Die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter wurde im vergangenen Jahr fortgeführt. Neben der praktischen Ausbildung unter Anleitung der Bereichsleiter wurden theoretische Kurse im Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt des Forschungszentrums besucht. Für die Mitarbeiter des Schichtdienstes und der Rufbereitschaften wurden monatlich Begehungen von Gebäuden mit Fort- und Raumluftmonitoren sowie sonstigen dauernd betriebenen Strahlenschutzmessgeräten durchgeführt.

5.5.3 In-vivo Messlabor

B. Breustedt

Das In-vivo Messlabor der Abteilung Kompetenzerhalt im Strahlenschutz ist für die personenbezogene Inkorporationsüberwachung durch Direktmessung der Körperaktivität zuständig. Bei der Messung der Körperaktivität stehen im Ganzkörperzähler Cs-137 oder Co-60 und im Teilkörperzähler in Lunge, Leber und Skelett die Aktiniden im Vordergrund. In erster Linie ist das In-vivo Messlabor für die Eigenüberwachung des Forschungszentrums sowie für die Überwachung der auf dem Gelände des Forschungszentrums angesiedelten Institutionen zuständig. Darüber hinaus führt es auch Messungen für externe Auftraggeber (Industrie, Berufsgenossenschaften, Euratom) durch.

Außerdem beschäftigt sich das In-vivo Messlabor mit der Verbesserung der Messverfahren zur internen Dosimetrie. Im Fokus steht hierbei die Simulation des Strahlentransportes anhand von stochastischen Modellen - gegenwärtig wird das Computerprogramm MCNP5 (Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5) verwendet - und von Voxel-Phantomen.

Im Jahr 2007 stand die Akkreditierung des In-vivo Messlabors im Vordergrund. Die Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis vom 12.01.2007 legt in ihren Anforderungen fest, dass jede Messstelle ein Qualitätsmanagement-System betreibt und die fachliche und organisatorische Kompetenz durch eine Akkreditierung gemäß DIN EN ISO / IEC 17025 2005 nachweist. Im Oktober 2007 wurde das In-vivo Messlabor von der DAP (Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH) begutachtet und danach dem zuständigen Sektorkomitee der DAP die Akkreditierung des In-vivo Messlabors empfohlen.

Seit dem 22.02.2008 ist das In-vivo Messlabor akkreditiert. Nähere Einzelheiten zur Akkreditierung des In-vivo Messlabors finden sich in Kapitel 10.2.2.

5.5.3.1 Routine- und Sondermessungen

G. Cordes, N. Dollt, U. Mohr, B. Breustedt

Das In-vivo Messlabor betreibt einen Ganzkörperzähler und verschiedene Teilkörperzähler zum gammaspektroskopischen Nachweis von Radionukliden im menschlichen Körper. Der Ganzkörperzähler besteht aus vier NaI(Tl)-Detektoren, die paarweise oberhalb und unterhalb der zu messenden Person angeordnet sind. Mit dieser Messanordnung können in erster Linie Spalt- und Aktivierungsprodukte mit Photonenenergien zwischen 100 keV und 2000 keV nachgewiesen werden. Die verschiedenen Teilkörperzähler umfassen unter anderem drei 8"-Phoswich-Detektoren und vier HPGe-Sandwich-Detektoren. Mit ihnen können u. a. niederenergetische Photonenstrahler, wie z. B. I-125, Pb-210 und Am-241, nachgewiesen werden. Die Messgeometrie richtet sich hierbei nach der Art und der Lage der Nukliddeposition im Körper. So werden bei kurz zurückliegenden Inkorporationen hauptsächlich Messungen an der Lunge durchgeführt, während

bei länger zurückliegenden Inkorporationen darüber hinaus auch Messungen an der Leber sowie am Kopf und an den Knien der Probanden durchgeführt werden. Für räumlich eng begrenzte Nukliddepositionen steht außerdem auch ein kleiner 0,8" Phoswich-Detektor zur Verfügung.

Die Tabellen Tab. 5-5 und Tab. 5-6 vermitteln einen Überblick über die im Jahre 2007 mit den Ganz- bzw. Teilkörperzählern durchgeführten Personenmessungen und ihre Verteilung auf die verschiedenen Institutionen auf dem Gelände des Forschungszentrums sowie von Fremdaufträgen.

Institution	Anzahl der überwachten Personen	Anzahl der routinemäßigen Messungen						Anzahl der Inkorporationsmessungen aus besonderem Grund	
		Eingang		Ausgang		Wiederkehrende Routine			
		ohne Befund	mit Befund	ohne Befund	mit Befund	ohne Befund	mit Befund	ohne Befund	mit Befund
BTI	9	-	-	9	-	-	-	-	-
HS	5	-	-	2	-	-	-	3	-
IMF II	1	1	-	1	-	-	-	-	-
INE	3	1	-	2	-	-	-	-	-
ITC-CPV	3	-	-	3	-	-	-	-	-
ITG	1	-	-	1	-	-	-	-	-
ITP	1	-	-	1	-	-	-	-	-
Summe Bereich Forschung	23	2	-	19	-	-	-	3	-
HDB	186	127	12	183	11	1	-	36	-
KNK	60	55	5	59	4	2	-	1	-
MZFR	31	21	-	27	1	1	-	3	-
Summe Bereich Stilllegung	277	203	17	269	16	4	-	40	-
ITU	393	116	7	166	5	206	7	7	-
WAK	571	6	1	237	12	399	14	1	-
Fremdauftrag	178	-	-	-	-	173	5	1	-
Summe Sonstige	1142	122	8	403	17	778	26	9	-

Tab. 5-5: Anzahl der Personenmessungen mit dem Ganzkörperzähler im Jahr 2007 (ohne Referenzmessungen und Messungen zur Qualitätssicherung)

Mit dem Ganzkörperzähler wurden insgesamt 1442 Personen (ohne Referenzpersonen) untersucht. Ein Teil dieser Personen wurde mehrmals untersucht, so dass sich die Gesamtanzahl

der Ganzkörpermessungen auf 1936 beläuft. Hierbei handelte es sich zum weitaus überwiegenden Teil um Messungen im Rahmen der routinemäßigen Inkorporationsüberwachung. Etwa 29,6 % der Ganzkörpermessungen wurden für das Forschungszentrum selbst durchgeführt, wobei es sich zum größten Teil um Eingangs- bzw. Ausgangsmessungen von Fremdfirmenmitarbeitern handelte. Die übrigen Ganzkörpermessungen erfolgten im Auftrag der auf dem Gelände des Forschungszentrums Karlsruhe angesiedelten Institutionen (Institut für Transurane (26,5 %) und Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (34,6 %) sowie im Auftrag externer Institutionen (9,3 %).

Bei 45 Personen (etwa 3,1 %) lag die Cs-137-Körperaktivität über der Erkennungsgrenze für beruflich bedingte Cs-137-Körperaktivitäten, allerdings wurde in vielen dieser Fälle nach Auskunft der Probanden Wildbret oder Pilze verzehrt. Bei 19 Personen (36 Messungen) wurden Inkorporationen von Co-60, sowie in zwei Fällen Co-58 nachgewiesen. In der Mehrzahl der Fälle handelte es sich um länger zurückliegende Aktivitätszufuhren, die bereits bei früheren Messungen festgestellt wurden.

Alle festgestellten Aktivitäten lagen unter der Interpretationsschwelle nach der „Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle“ [RiPhyKo 07].

Neben den genannten Überwachungsmessungen wurden regelmäßige Messungen zur Ermittlung der Cs-137-Körperaktivität der Karlsruher Referenzgruppe vorgenommen (vgl. Kap. 5.5.3.2).

Mit dem T e i l k ö r p e r z ä h l e r wurden insgesamt 296 Personen untersucht. Ein Teil dieser Personen wurde mehrmals untersucht, so dass sich die Gesamtanzahl der Messungen auf 346 beläuft. Die Messungen wurden für verschiedene Institutionen des Forschungszentrums (0,6 %), für das Institut für Transurane (50,9 %) sowie im Fremdauftrag für andere Firmen bzw. Institutionen (43,9 %) durchgeführt. Bei etwa 4,6 % der Teilkörpermessungen handelte es sich um Untersuchungen aus besonderem Anlass.

Institution	Anzahl der überwachten Personen	Anzahl der routinemäßigen Messungen			Anzahl der Inkorporationsmessungen aus besonderem Anlass
		Eingang	Ausgang	wiederkehrende Routine	
KNK	3	-	-	-	4
HS	1	-	-	-	1
HDB	6	-	-	-	6
ITC-CPV	2	-	2	-	-
MZFR	3	-	-	-	3
WAK	1	-	-	-	1
Summe Bereich Stilllegung	16	-	2	-	15
ITU	129	73	82	18	5
Fremdauftrag	153	-	-	152	1
Summe Sonstige	282	73	82	171	3

Tab. 5-6: Anzahl der Personenmessungen mit den Teilkörperzählern im Jahr 2007 (ohne Messungen zur Qualitätssicherung)

Zur Qualitätssicherung wurden zahlreiche Kalibriermessungen, Referenzmessungen sowie Nulleffektmessungen durchgeführt. Mit Ausnahme der täglich erfolgenden Energiekalibrierungen sind alle Messungen in Tab. 5-7 aufgelistet. Die Gesamtanzahl aller im Jahr 2007 durchgeführten Messungen beläuft sich auf 2798.

Messung	Ganzkörperzähler	Teilkörperzähler	
		8"-Phoswich	HPGe-Sandwich
Eingang	351	73	-
Ausgang	725	83	-
Routine	631	20	-
Besond. Grund	51	17	1
Fremdauftrag	178	153	-
Referenz	331	3	-
Nulleffekt	48	43	1
Materialproben	1	5	-
Kalibrierspektren	27	56	-
Summe	2343	453	2

Tab. 5-7: Anzahl aller Messungen mit Ganz- und Teilkörperzählern im Jahr 2007 (ohne tägliche Funktionskontrollmessungen)

5.5.3.2 Cs-137-Referenzmessungen

G. Cordes, N. Dollt, U. Mohr, B. Breustedt

Seit Inbetriebnahme des ersten Ganzkörperzählers im Jahre 1961 werden regelmäßige Messungen zur Bestimmung der Cs-137-Körperaktivität an einer Referenzgruppe nicht beruflich strahlenexponierten Personen aus dem Karlsruher Raum durchgeführt. Die

Abb. 5-3 stellt die seit 1961 gemessenen Quartalsmittelwerte der spezifischen Cs-137-Körperaktivität dar. Deutlich erkennbar sind die Auswirkungen des Fallouts der oberirdischen Kernwaffentests in den 60er Jahren sowie des Reaktorunfalls in Tschernobyl im April 1986.

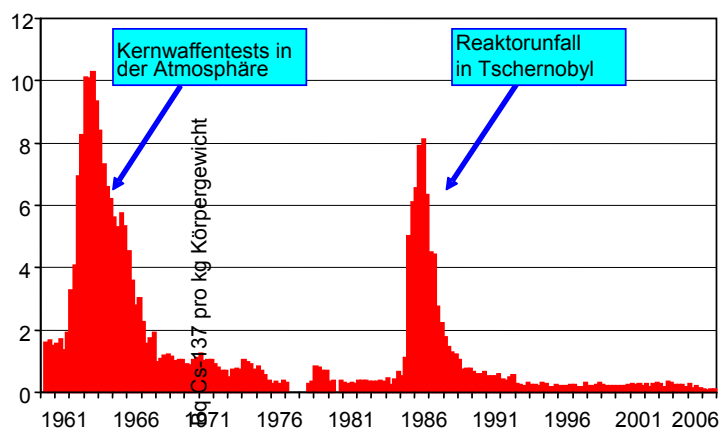


Abb. 5-3: Quartalsmittelwerte der spezifischen Cs-137 Körperaktivität der Karlsruher Referenzgruppe seit 1961

In den Jahren nach dem Unfall von Tschernobyl konnten die Messergebnisse der Referenzgruppe sehr gut als logarithmische Normalverteilungen interpretiert werden. Aus diesem Grund wurden die Messwerte bis zum Jahr 2000 geometrisch gemittelt. In den letzten Jahren näherten sich die Messwerte allerdings wieder an arithmetische Normalverteilungen an, so dass ab 2003 arithmetische Mittelwerte der spezifischen Cs-137-Körperaktivität angegeben werden können. Für 2007 ergibt sich so ein Jahresmittelwert von 0,09 Bq/kg.

Bei Frauen ist die effektive Halbwertszeit von Cs-137 kürzer als bei Männern. Aus diesem Grund haben Frauen im Mittel eine geringere spezifische Cs-137-Körperaktivität als Männer. Im Einzelfall lässt sich diese Aussage jedoch nicht immer verifizieren, da auch noch andere Faktoren den Cs-137-Gehalt beeinflussen, wie z. B. das Muskel/Fett-Verhältnis, der Stoffwechsel und die Ernährungsgewohnheiten.

Die arithmetischen Mittelwerte der absoluten Cs-137-Körperaktivität betragen 9,8 Bq bei den Männern bzw. 4,0 Bq bei den Frauen. Die Standardabweichung des Mittelwertes beträgt 4,0 Bq bei den Männern bzw. 2,7 Bq bei den Frauen. Folglich liegt die zivilisatorisch bedingte Cs-137-Körperaktivität bei den Männern in 95 % der Fälle unter 50 Bq, während sie bei den Frauen in 95 % der Fälle unter 24 Bq liegt. Demnach können in Anlehnung an DIN 25482 die Werte von 50 Bq (Männer) bzw. 24 Bq (Frauen) als Erkennungsgrenzen einer berufsbedingten Cs-137-Körperaktivität angesehen werden.

5.5.4 Kalibrieranlagen

F. Becker

Die Hauptabteilung Sicherheit-Kompetenzerhalt Strahlenschutz betreibt in seinem Kalibrierlabor folgende Kalibrieranlagen:

- Photonen-Bestrahlungsanlagen
 - kollimierte Cs-137 Strahlenfelder mit vier in 10er Potenzen abgestuften Quellen
 - 1 Weichstrahl-Röntgenröhre bis 60 kV
 - 1 Hartstrahl-Röntgenröhre bis 300 kV
- Neutronen-Bestrahlungsanlage
 - Cf-252-Quelle mit PTB-Zertifikat
- Beta-Bestrahlungsanlage
 - PTB-Sekundärnormal 2 (BSS 2) Sr-90/Y-90, Kr-85, Pm-147

Im Kalibrierlabor werden Bestrahlungen unter Kalibrierbedingungen in Photonen-, Beta- und Neutronenstrahlungsfeldern durchgeführt. Dazu gehören:

- Kalibrierung von Strahlenschutzmessgeräten
- Eichfristverlängerungen nach der Eichordnung für Photonendosimeter
- Wiederkehrende Prüfungen an Strahlenschutzmessgeräten
- Bereitstellung der Photonen-Bestrahlungsanlage für das Eichamt Baden-Württemberg
- Bestrahlung von Prüflingen und Proben für Forschung und Entwicklung

Insbesondere wurde das BSS 2 im Jahr 2007 vermehrt eingesetzt. Dazu gehörten Forschungstätigkeiten zur Entwicklung einer Betasonde, Bestrahlungen von eukaryotischen Zellen für Untersuchung der Strahlungsdosen im Hinblick auf die biologische Wirksamkeit von Betastrahlung bei der BIOPAN Weltraummission, Kalibrierungen von Dünnschichtdetektoren, Untersuchungen

zur experimentellen Verifikation von MCNPX-Simulationen und Einsätze für Laborübungen im Rahmen des Praktikums „Strahlentechnische Grundlagen“ der Berufsakademie Karlsruhe.

5.5.4.1 Routinekalibrierung

P. Bohn, T. Tecele

Die Kalibrierung von Dosisleistungsmessgeräten garantiert die Messgenauigkeit der Geräteanzeige. Die Messgenauigkeit ergibt sich aus den Anforderungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt für die Zulassung zur Eichung und den Prüfregele für Strahlenschutzmessgeräte.

Folgende Aufgaben stehen im Vordergrund:

- Kalibrierung von Dosisleistungsmessgeräten, Dosiswarngeräten und Dosimetern
- Bestrahlung von Dosimeterchargen zur Kalibrierung von Thermolumineszenz- Auswertegeräten

Im Berichtsjahr wurden 16 Neutronen-Dosisleistungsmessgeräte sowie 22 Neutronen-Dosimeter kalibriert. Im Bestrahlungsbunker fanden 116 Dosimeter-Bestrahlungen statt. Alle Cs-137-Bestrahlungseinrichtungen wurden regelmäßig mit einem Sekundärstandard kontrolliert. Die Überprüfung von 1569 Strahlenschutzmessgeräten zwecks Eichfristverlängerung erfolgte mit der von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt zugelassenen stationären Kontrollvorrichtung (SKV). Bei 135 Strahlenschutzmessgeräten, meist Reparaturfälle, erschien eine Messprüfung mit der stationären Kontrollvorrichtung sinnvoll, bevor sie der Eichbehörde überstellt wurden.

5.5.4.2 Eichfristverlängerung

M. Hauser

Mit einer entsprechenden Bestrahlungseinrichtung ist es möglich die auf zwei Jahre begrenzte Eichfrist zu verlängern.

Bei der Überprüfung von Strahlenschutzmessgeräten zwecks Eichfristverlängerung ist wichtig, das vorgeschriebene Zeitintervalle von maximal sechs Monaten einzuhalten. Da die Strahlenschutzmessgeräte über das gesamte Gelände des Forschungszentrums Karlsruhe verteilt sind, erfordert die dafür notwendige Logistik einen entsprechen hohen Zeitaufwand.

Wenn möglich wurden defekte Geräte repariert, kalibriert und dem Eichamt überstellt. Wenn vor Ort keine Reparatur möglich war, erfolgte der Versand an den Hersteller.

5.5.4.3 Amtliche Eichabfertigungsstelle

P. Bohn

Nach der Eichordnung ist es Aufgabe des Landes Baden-Württemberg, regelmäßige Eichungen von Personen- und Ortsdosimetern vorzunehmen. Entsprechend einem Vertrag zwischen dem Land Baden-Württemberg und dem Forschungszentrum Karlsruhe werden Beamte der Aufsichtsbehörde, an den hierfür vom Forschungszentrum Karlsruhe zur Verfügung gestellten technischen Einrichtungen, hoheitlich tätig.

Der Beitrag der Hauptabteilung Sicherheit bei der Eichabfertigung besteht in der Bereitstellung der Bestrahlungseinrichtungen und in der Unterstützung bei der Durchführung der Eichungen mit insgesamt 8 193 Eichpunkten im Jahr 2007.

5.5.4.4 Auftragsarbeiten

P. Bohn, S. Nagels

Im Berichtszeitraum wurden Auftragsarbeiten in einer Größenordnung von cirka 39 Stunden für Fremdfirmen durchgeführt. Hierbei handelte es sich um Kalibrier- bzw. wiederkehrende Prüfbestrahlungen von Strahlenschutzmessgeräten und neu entwickelten Strahlenschutzmesssystemen.

5.5.4.5 Vorbereitungen zur Einführung einer automatisierten Datenerfassung S. Ugi

Im Rahmen der angestrebten Akkreditierung des Kalibrierlabors wird eine Software zur Erfassung der Abläufe und Dokumentation der Daten mit Berechnung der Ergebnisse erstellt. Erforderlich dazu ist die Erfassung aller Bestrahlungsparameter in den Photonenbestrahlungsanlagen. Abb. 5-4 gibt einen Überblick über den derzeit laufenden Aufbau der Sensorik und den Schnittstellen zur Abfrage der Anlagenzustände und Übernahme der Messgeräteanzeigen.

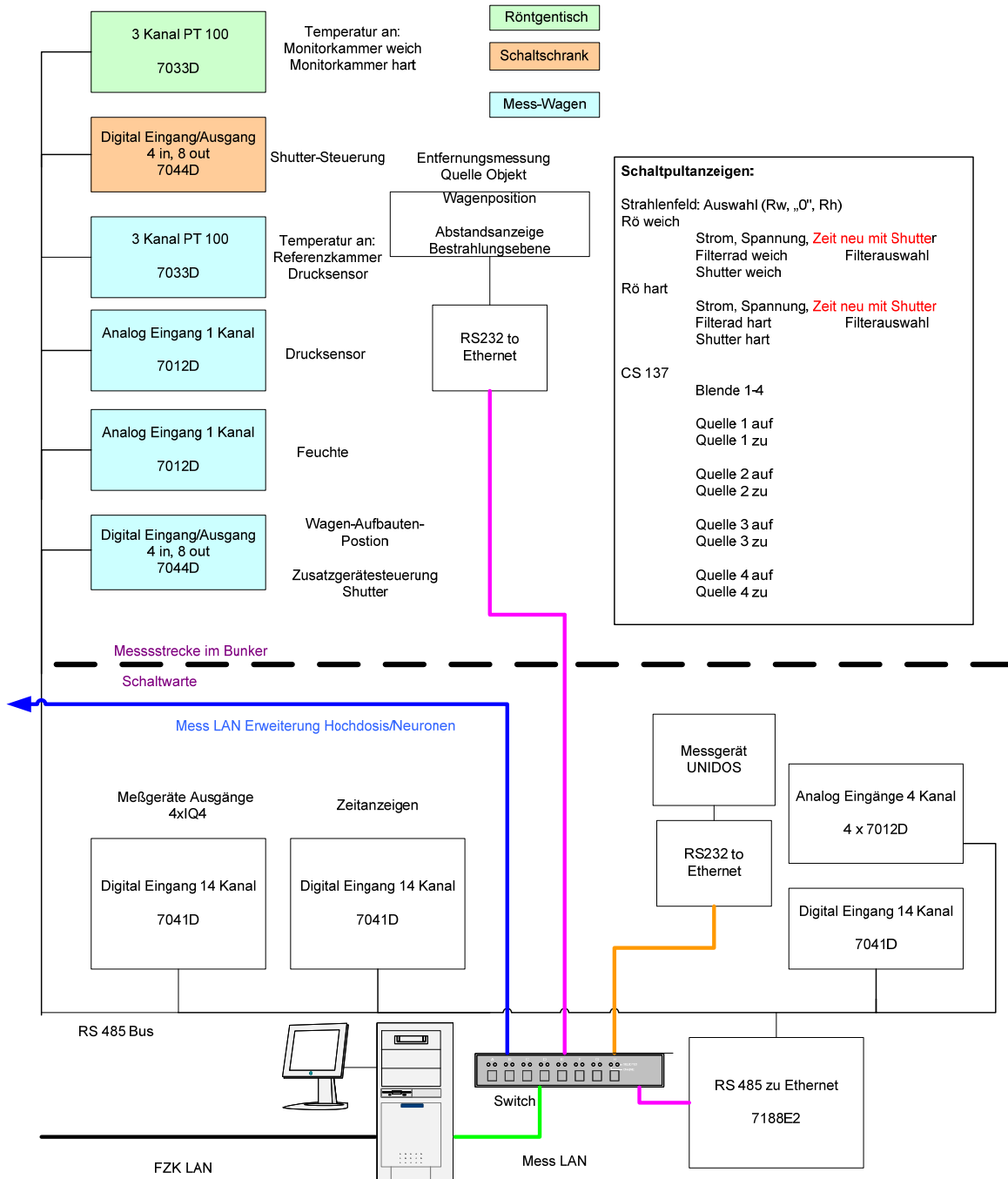


Abb. 5-4: Datenerfassung in der Photonenbestrahlungsanlage

5.5.4.6 Bestimmung des Strahlenkegels an der Röntgenanlage

A. Mayer, S. Nagels

Die Röntgenanlage der Kalibrieranlagen des Forschungszentrums Karlsruhe besteht aus einer großen Röhre (sog. Hartstrahlröhre) mit einer Betriebsspannung zwischen 60 kV und 300 kV und einer kleinen Röhre (sog. Weichstrahlröhre) mit einer Betriebsspannung zwischen 10 kV und 40 kV. Mit diesen Röhren lassen sich Röntgenenergien der ISO-N-Serie herstellen.

Da die für die Kalibrieranlage eine Akkreditierung als Kalibrierlabor nach DIN 17025 angestrebt wird, sind verschiedene Maßnahmen erforderlich. Eine solche Maßnahme ist der Einbau eines Shutters zwischen Röntgenröhre und Blendenblock. Durch die Anbringung des Shutters mussten die Blenden um 50 mm von der Röhre wegversetzt werden, wodurch ein verkleinerter Strahlenkegel entstand.



Abb. 5-5: Abbildung des Shutters

5.5.4.7 Halbwertsschichtdickenbestimmung

I. Swillus, F. Becker

Die Kalibrieranlage beinhaltet eine Röntgenanlage mit zwei Röntgenquellen, einer Hartstrahlröntgenröhre für die Strahlenqualitäten ISO N-60 bis ISO N-300 und eine Weichstrahlröntgenröhre für die Strahlqualitäten ISO N-15 bis ISO N-40.

Für die Erzeugung der Referenzstrahlung gelten Vorgaben, die in internationalen Normen festgelegt wurden. Ein akkreditiertes Laboratorium muss diese Vorgaben einhalten.

Dies bedeutet, dass das Strahlenfeld unter denen die Röntgenstrahlung erzeugt wird, nach den Vorgaben überprüft werden. Ein Hauptaspekt ist hierbei die Hochspannung der Anlage. Optimalerweise wird die Hochspannung der Anlage direkt gemessen, ist das jedoch nicht möglich, kann die Erzeugung des Referenzstrahles auch durch die Bestimmung der Halbwertsschichtdicke (HWS) festgelegt werden.

Die Halbwertsschichtdicke ist definiert als die Schichtdicke eines Materials, nach deren Durchtritt die Strahlung I nur noch die Hälfte ihrer ursprünglichen Intensität I_0 aufweist.

Hier findet folgendes Exponentialgesetz Anwendung:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \rho d} \quad (1)$$

I_0 Intensität der erzeugten, ungeschwächten Strahlung

I Intensität der Strahlung nach Durchgang durch eine Materieschicht der Dicke d und der Dichte ρ

d Dicke des Materials

ρ Dichte des Materials

μ Massenschwächungskoeffizient

Der Massenschwächungskoeffizient ist abhängig von der Energie der Röntgenstrahlung (je größer die Energie, desto kleiner μ d. h. desto geringer die Absorption) und von der Ordnungszahl Z des Absorbermaterials (je größer Z , desto größer μ).

In den Kalibrieranlagen wird zurzeit an beiden Röntgenröhren die Halbwertsschichtdicke bestimmt. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 5-6 dargestellt. Die Materieschicht, durch die der erzeugte Röntgenstrahl geschwächt wurde, besteht aus Filterkombinationen mit 99,9 % Kupfer oder 99,9% Aluminium (siehe Tab. 5-8).

Die Halbwertsschichtdicke muss für jede Strahlenqualität beider Röhren bestimmt werden.

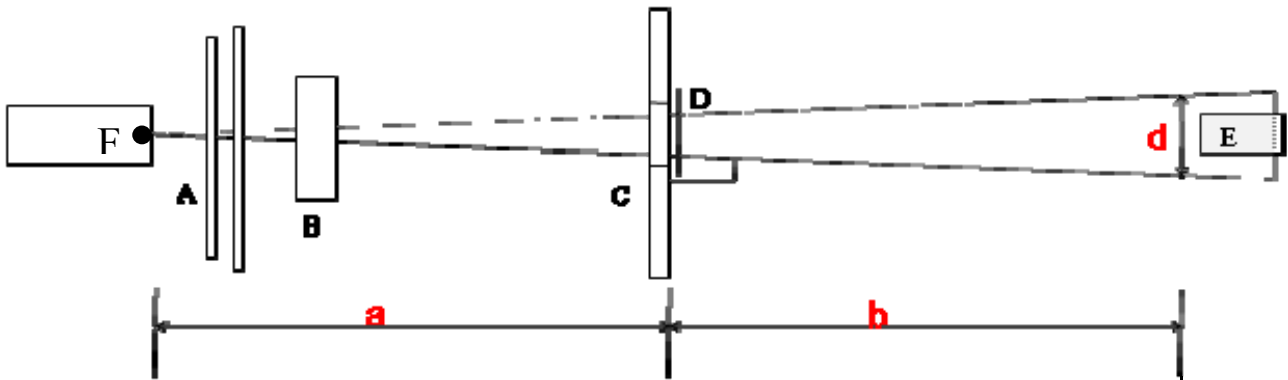


Abb. 5-6: Schematischer Aufbau der Messstrecke mit Röntgenröhre im Bestrahlungsbunker der Kalibrieranlage (F =Fokus der Röntgenröhre, A =Blenden, B=Monitorkammer, C =Messstand HWS, D = Aluminium oder Kupferfilter, E= Ionisationskammer)

Ein Beispiel der aktuell durchgeführten Messungen ist in Abb. 5-7 dargestellt. Die Halbwertsschichtdicke wird aus der Steigung der Geraden ermittelt, die sich beim Auftrag in halblogarithmischer Darstellung ergibt. Die Steigung der Geraden ergibt sich durch drei gemessene Punkte im Bereich des in der ISO 4037-1 angegebenen HWS-Wertes. Deutlich zu erkennen ist, dass die verschiedenen Strahlenqualitäten unterschiedliche Steigungen und somit unterschiedliche Halbwertsschichtdicken besitzen. In Abb. 5-7 ist durch einen Pfeil ein HWS-Wert der Tab. 5-8 beispielhaft markiert. Zusätzlich zur Halbwertsschichtdickenbestimmung wird momentan eine nicht invasive Ermittlung der Röntgenröhrenspannung durchgeführt.

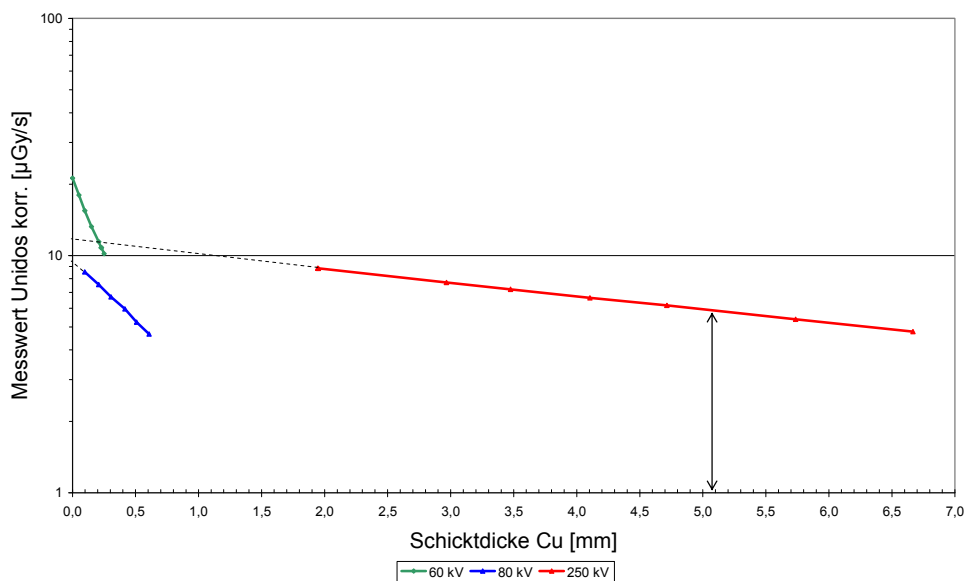


Abb. 5-7: Gemessene Datenpunkte für die experimentelle Bestimmung der Halbwertschichtdicke für drei ausgewählte Strahlenqualitäten ISO N-60, ISO N-80, ISO-250

Nachstehende Tabelle zeigt die von der ISO 4037-1 vorgegebenen Werte

N-Serie	Hochspannung [kV]	1. HWS [mm]	2.HWS [mm]
N-15	15	0,17 Al	0,177 Al
N-20	20	0,36 Al	0,396 Al
N-25	25	0,68 Al	0,746 Al
N-30	30	1,17 Al	1,28 Al
N-40	40	2,65 Al	2,83 Al
N-60	60	0,24 Cu	0,263 Cu
N-80	80	0,58 Cu	0,622 Cu
N-100	100	1,09 Cu	1,15 Cu
N-120	120	1,67 Cu	1,73 Cu
N-150	150	2,30 Cu	2,41 Cu
N-200	200	3,91 Cu	3,99 Cu
N-250	250	5,08 Cu	5,14 Cu
N-300	300	5,94 Cu	6,00 Cu

Tab. 5-8: Vorgegebene Halbwertsschichtdicken für die ISO N-Serie.

5.5.5 Strahlenschutzmesstechnik

B. Reinhardt

5.5.5.1 Aufgaben

Nach der Strahlenschutzverordnung wird an Strahlenschutzmessgeräte generell die Forderung gestellt, dass sie dem Stand der Wissenschaft und Technik entsprechen, den Anforderungen des Messzweckes genügen, in ausreichender Anzahl vorhanden sind und regelmäßig gewartet werden. Der Bestand an elektronischen Strahlenschutzmessgeräten, der von der Abteilung Überwachung und Messtechnik betreut wird, setzt sich aus einer großen Anzahl von Dosisleistungs- und Kontaminationsmonitoren, aus Messplätzen zur Aktivitätsbestimmung und ortsfesten Anlagen zur Raum- und Fortluftüberwachung zusammen.

Die Funktionstüchtigkeit dieser Geräte und Anlagen wird vom Personal der Arbeitsplatzüberwachung regelmäßig, meist täglich, überprüft. Wiederkehrende Prüfungen werden nach den, in einem Prüfplan festgelegten Anforderungen, durch Eigenpersonal oder durch Sachkundige einer Service-Firma oder durch hinzugezogene Sachverständige durchgeführt.

Bei der Instandhaltung der Strahlenschutzmessgeräte fallen folgende Aufgaben an:

- Reparatur und Kalibrierung von Dosisleistungs- und Luftüberwachungsanlagen
- Reparatur sonstiger elektronischer Geräte
- Erstellung von Prüfanweisungen

Außerdem werden bei neu beschafften Geräte Eingangskontrollen und Gerätetest durchgeführt und bei Bedarf Prüfanweisungen erstellt. Die dabei gewonnenen Erfahrungen stehen auch anderen Abteilungen für die Beschaffung und Installation von Geräten und Überwachungsanlagen zur Verfügung.

Auch werden Umbauten und Anpassungen von Messsystemen vorgenommen und kommerziell nicht erhältliche Geräte für den Eigenbedarf der Hauptabteilung Sicherheit entwickelt.

5.5.5.2 Wartung und Reparatur

F. Arend, J. Burkhardt, P. Simon

Zur Instandhaltung der von der Abteilung Überwachung und Messtechnik betreuten kontinuierlich messenden Raumluft- und Fortluftüberwachungsanlagen, sowie Ortdosisleistungs-Messstellen und Handgeräte waren tägliche Reparatursätze notwendig. Ältere Raumluft-sammler wurden ertüchtigt und neue Raumluftsammler gebaut. Zwei neue Fortluftmessstellen befinden sich im Probetrieb.

Ein Teil der anfallenden Reparaturen an Strahlenschutzmessgeräten ist vertraglich an eine Fremdfirma vergeben. Bei diesen Reparaturarbeiten wurde, wenn notwendig, Hilfestellung leistet.

5.5.5.3 Datenerfassung fürs Qualitätsmanagement

F. Arend, J. Burkhardt, P. Simon

Für die Qualitätssicherung, sowie für eine Doktorarbeit, ist im Bodycounter und in der Eichhalle eine Systemanpassung notwendig.

Im Bodycounter sollen die Werte von Positions-Messsystemen direkt von einem Rechner erfasst und dokumentiert werden. In der Eichhalle sind die Bestrahlungsparameter in einer zentralen Datenbank zu speichern.

Planung, Entwicklung und Realisierung der mechanischen und elektronischen Komponenten erfolgt innerhalb der Abteilung Überwachung und Messtechnik.

5.5.6 Konventionelle Überwachungssysteme

A. Werner

Die Alarmzentrale (AZ) ist ein Teil der Sicherheitsorganisation des Forschungszentrums Karlsruhe. Sie ist rund um die Uhr besetzt und zentrale Anlaufstelle für alle sicherheitsrelevante Alarmierungsfunktionen. Sicherheitsrelevante Störungen und Meldungen sind solche, bei denen der Eintritt eines Schadensereignisses zu befürchten ist, die das Eingreifen der Sicherheitsdienste des Forschungszentrums erforderlich machen. Nicht sicherheitsrelevante Alarmierungsfunktionen werden auf die Serviceleitstelle bei BTI aufgeschaltet, sofern keine lokale Maßnahme innerhalb der Organisationseinheit ausreichend ist.

Änderungen innerhalb der Infrastruktur führten dazu, dass für die technische Wartung der Alarmzentrale des Forschungszentrums Karlsruhe, etc, die Abteilung Überwachung und Messtechnik jetzt zuständig ist.

Es waren umfangreiche Prüfkalender abzuarbeiten, die Dokumentation der Anlage zu aktualisieren und die Vorgaben für erforderliche Neuinstallationen zu erstellen. Weitere Informationen zu wiederkehrenden Prüfungen und Änderungen im Aufzug-Notrufsystem der AZ finden Sie in Kap. 8.8.

5.6 Freigabe nach §29 StrlSchV

H. Dilger, A. Reichert

5.6.1 Standardverfahren

Nach der Strahlenschutzverordnung von 2001 dürfen radioaktive Stoffe sowie bewegliche Gegenstände, Gebäude, Bodenflächen, Anlagen oder Anlagenteilen, die aktiviert oder kontaminiert sind und aus dem genehmigtem Umgang stammen, als nicht radioaktive Stoffe nur abgegeben

werden, wenn die die Vorgaben aus der StrlSchV für die Freigabe eingehalten sind. Da es nicht praktikabel ist, für jeden einzelnen Vorgang einen Bescheid zu erlangen, hat das Forschungszentrum Karlsruhe im August 2004 einen standardisierten Bescheid für verschiedene Stoffströme zur uneingeschränkten Freigabe erlangt. Es wurden folgende Stoffströme genehmigt (in der Fassung des zweiten Änderungsbescheides vom 11.11.2005):

- Metallschrott
- Nichtmetalle
- Beton
- geschredderte Elektrokabel
- Bauschutt
- Bodenaushub
- brennbare Abfälle
- Schüttgüter aus homogenem Material
- Flüssigkeiten und
- Mischungen aus den o. g. Stoffströmen.

Die Messverfahren werden in einer „Messvorschrift für die Strahlenschutzkontrolle zur Freigabe nach § 29 StrlSchV und zum Herausbringen von Gegenständen nach § 44 StrlSchV im Forschungszentrum Karlsruhe GmbH“ konkret beschrieben. Diese Messvorschrift wurde vom Sachverständigen positiv begutachtet. Aufgrund der Vorgaben aus dem erteilten Freigabebescheid ist der Sachverständige angehalten ca. 10 % der vom FZK durchgeführten Freimessungen stichprobenartig zu überprüfen. Um dieser Forderung nachkommen zu können, müssen alle freizugebenden Chargen eine Woche vorher beim Sachverständigen angemeldet werden. Im Jahre 2007 wurden 253 Vorgänge an HS zur Bearbeitung übergeben. Von diesen sind im Berichtszeitraum 123 Materialchargen von den Autoren in ihrer Eigenschaft als SSB freigegeben worden, 5 Anträge wurden zurückgezogen, 15 Chargen wurden als radioaktiver Abfall entsorgt, bei 61 dieser angemeldeten Chargen stellt sich aufgrund der Voruntersuchungen heraus, dass es sich nicht um radioaktive Stoffe im Sinne des § 29 StrlSchV handelt, die restlichen Chargen sind noch in Bearbeitung.

Sofern bei den Voruntersuchungen keine Aktivität erkannt wird, kann bei Materialien aus Überwachungsbereichen und Kontrollbereichen mit einer geringen Kontaminationswahrscheinlichkeit (Zone I und II der „Kleider- und Zonenordnung bei Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen“ des Forschungszentrums Karlsruhe) nach der Bewertung durch den SSB für die Freigabe auf ein Verfahren nach § 29 StrlSchV verzichtet werden.

5.6.2 Einzelfallverfahren

Im Berichtsjahr wurde das Einzelfallverfahren zur Freigabe der Abwassersammelstation mit den Vorräumen in Gebäude 542 abgeschlossen. Erstmals wurde die In-situ-Gammamessung für die Freimessungen angewandt. Dazu erlangte das FZK einen Freigabebescheid, in dem eine Mittelungsfläche bis zu 20 m² für die Bereiche, in denen eine Kontamination unwahrscheinlich ist, erlaubt wurde. Dieses Verfahren wurde für die Wände und Decken angewandt, während für den Boden konventionell durch direkte flächendeckende Handmessungen mit einem Dokumentationsraster von 1 m² gearbeitet wurde. Die Kontrollmessungen des Sachverständigen (TÜV-Süd) waren ohne Beanstandungen, so dass die Räume vom zuständigen Strahlenschutzbeauftragten zur Weiterverwendung freigegeben werden konnten.

Am 27.03.2007 erhielt die Forschungszentrum GmbH einen Freigabebescheid zur Beseitigung von jährlich maximal 1000 t Betonbruch, Bauschutt, Straßenaufbruch und Bodenaushub sowie Mischungen dieser Stoffe auf vier Deponien bei Wiesloch, Billigheim, Vaihingen/Enz und Schwieberdingen. In einer Nebenbestimmung wird festgelegt, dass vor der Annahme einer Abfallcharge ein spezielles Annahmeverfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien

durchzuführen ist. Dies bedeutet, dass vorab die Annahmebedingungen der Deponien, erforderlichenfalls mit Probenentnahmen und Auswertung auf konventionelle Schadstoffe, einzuhalten sind. Nach dem Durchlaufen der normalen FreigabeprozEDUREN und der Kontrollen des Sachverständigen, können die Materialien vom SSB Freigabe nach Anlage 1 Tab. 3 Spalte 9 StrlSchV zur Beseitigung freigegeben werden. Die Materialien können dann nach der endgültigen Annahmeerklärung an eine der vorgegebenen Deponien abgegeben werden. Im Berichtsjahr wurden auf diese Weise rund 60 t Betonbruch entsorgt.

5.7 Physikalisches Messlabor

Chr. Wilhelm

Seit dem 6. November 2006 ist das Physikalische Messlabor gemäß DIN EN ISO/IEC17025 akkreditiert und dieses Jahr fand das erste Überprüfungsaudit durch den externen Gutachter statt (Kap. 10.2.1). Die vollständige Angabe des akkreditierten Umfangs findet sich unter folgendem Link: „<http://www.dap.de/anl/PL385900.pdf>“.

5.7.1 Aufgaben

Im „Physikalischen Messlabor“ werden alle Messungen an Proben für die Raumluftüberwachung, an Proben zur Dichtheitsprüfung sowie alle Messungen zur Bilanzierung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft durchgeführt. Ebenso erfolgen hier alle Messungen an Umweltproben, an Proben für die Arbeitsplatzüberwachung und an Proben zur Abwasserüberwachung. Für die Freigabe von radioaktiven Reststoffen werden α - und γ -spektrometrische Messungen, sowie die Bestimmung von Betastrahlern mittels Flüssigszintillationsmessung durchgeführt. Einen Überblick über die Anzahl an Proben und der daran durchgeführten Analysen aus den einzelnen Arbeitsgebieten gibt die Tab. 5-9 wieder.

Die Gruppe „Physikalisches Messlabor“ ist darüber hinaus zuständig für die Überwachung radioaktiver Stoffe in den Abwassersystemen auf dem Betriebsgelände des Forschungszentrums Karlsruhe (Kap. 7.2.2.2). Diese Aufgabe umfasst sowohl die Umsetzung der Auflagen der strahlenschutzrechtlichen Genehmigung in ein Überwachungskonzept, als auch die Durchführung der Aktivitätsmessungen einschließlich der Entscheidung über die Weiterverarbeitung der Abwässer.

5.7.2 Messsysteme

S. Kaminski, C. Leim

Zur Erfüllung seiner Aufgaben unterhält das „Physikalische Messlabor“ die verschiedensten Messgeräte zur Radioaktivitätsmessung, die mit von Kalibrierdiensten zertifizierten Radionuklidstandards kalibriert wurden. Zur Sicherstellung der Richtigkeit der Messergebnisse werden umfangreiche laborinterne und externe qualitätssichernde Maßnahmen getroffen. Das Labor nimmt an verschiedenen Ringversuchen teil, so dass alle Messverfahren mindestens einmal jährlich durch Ringversuche überprüft werden. Die Vorgaben aus allen Regelwerken der verschiedenen Arbeitsgebiete werden erfüllt.

5.7.2.1 Alpha-Beta-Messtechnik

Zur Messung von Alpha- und Beta-Gesamtaktivitäten werden sieben Großflächen-Proportionalzähler mit Probenwechslern und Pseudokoinzidenz-Elektronik betrieben. An diesen Messplätzen werden die Kontroll- und Bilanzierungsmessungen von Aerosolfiltern zur Fortluftüberwachung sowie die Messungen von Raumluftfiltern (Kap. 7.2.1.2) durchgeführt.

Neben diesen Detektoren wird zur Durchführung von Alpha- und Beta-Gesamtaktivitätsmessungen an Abwasser ein Messsystem betrieben, in dem sechs Großflächen-Proportionalzähler integriert sind. Die Proportionalzähler arbeiten einheitlich mit einem integrierten Elektronikmodul (Serial-Micro-Channel). Ein zentraler Rechner steuert über eine serielle Schnittstelle

die Messplätze und dient zur Erfassung der Rohdaten und zu deren Auswertung. Die Datenablage erfolgt in Datenbanken auf einem zentralen Server.

Für die Alpha-Beta-Gesamtaktivitätsmessung an Umweltproben steht zusätzlich noch ein Großflächen-Proportionalzähler zur Verfügung. Dieses System wird separat betrieben.

5.7.2.2 Gammaspektrometrie

Für die Gammaspektrometrie stehen 18 Reinstgermanium-Detektoren zur Verfügung, deren Auswertelektronik über ein Messnetz miteinander verbunden ist. Es handelt sich um verschiedene Detektor-Typen: Niederenergie-Detektoren für den Energie-Bereich von 15 keV bis 150 keV, Hochenergie-Detektoren für den Energie-Bereich von 40 keV bis 2000 keV, kombinierte Gamma-X-Detektoren für den Energiebereich von 25 keV bis 2000 keV. Zwei der Germanium-Detektoren sind mit Probenwechslern ausgerüstet. Die Auswertung in der Standardroutine erfolgt mit dem Programmpaket Genie 2000 der Firma Canberra. Vier Detektoren wurden im Werk von Canberra charakterisiert, so dass es an diesen Detektoren möglich ist, mit Hilfe der zugehörigen Software mathematische Effizienzkalibrierungen durchzuführen. Vorteile dieses Verfahrens sind, dass für die Wirkungsgradkalibrierung keine radioaktiven Präparate eingesetzt werden müssen und dass Geometrien nahezu jeder Form, Material und Dichte kalibriert werden können.

Im Rahmen der internen Qualitätssicherung werden für jedes Gammaspektrometer monatlich die Energie- und Halbwertsbreitenkalibrierung und die Wirkungsgrade für 3 Radionuklide überprüft. In Abb. 5-8 ist beispielhaft der Verlauf der Halbwertsbreite der 59,5 keV Linie von Am-241 für Detektor 01 über die letzten 9 Jahre dargestellt. Man erkennt, dass es in dieser Zeit für diesen Detektor zu keiner Verschlechterung der Energieauflösung kam.

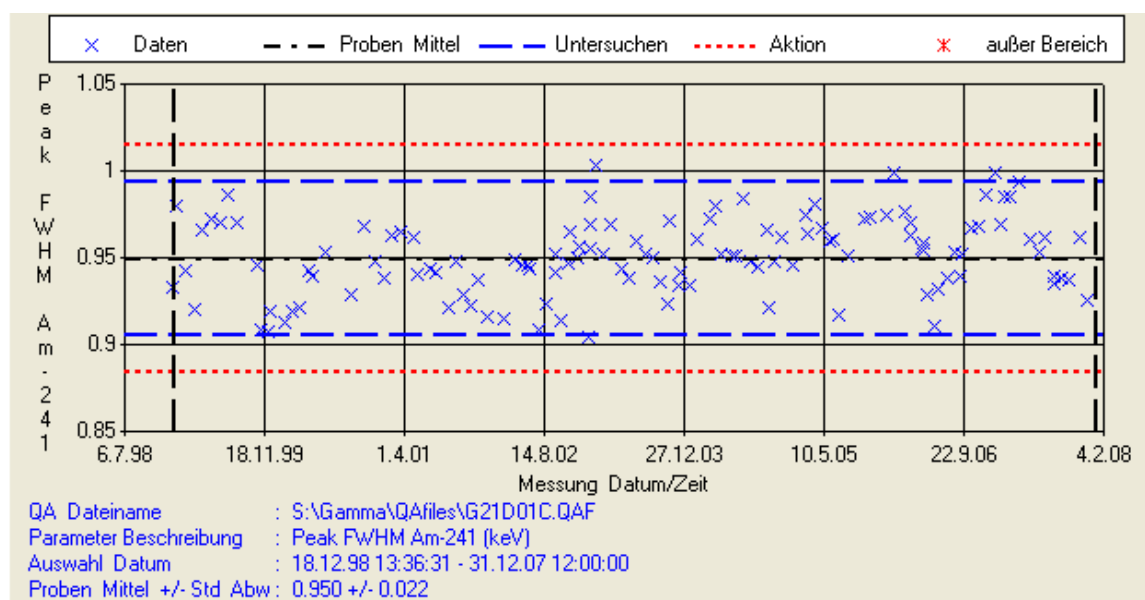


Abb. 5-8: Halbwertsbreite der 59,5 keV Linie von Am-241 als Beispiel der internen Qualitätssicherung an einem Gammaspektrometer

5.7.2.3 Alphaspektrometrie

Für die Alphaspektrometrie stehen 12 Halbleiter-Detektoren zur Verfügung. Die Alphaspektrometrie wird mit dem integrierten System Alpha-Analyst betrieben. Die Alphaspektrometrie ist in das gleiche Messnetz wie die Gammaspektrometrie integriert und auch die Auswertung erfolgt mit dem selben Programmpaket.

Für Übersichtsmessungen an Proben mit erhöhter Aktivität steht zusätzlich ein Alphaspektrometrie-Messplatz mit Halbleiterdetektor und großer Vakuum-Probenkammer zur Verfügung.

Außerdem werden für Abwasser- und Umgebungsproben zwei Gitterionisationskammern betrieben, die in das gleiche Messnetz wie die Halbleiterdetektoren integriert sind.

Messzweck	Anzahl der Proben	Anzahl der durchgeführten Messungen				
		α/β	Flüssigszintillation		α -Spektrometrie	γ -Spektrometrie
			Einzel-Nuklide	Spektrometrie		
Abwasserüberwachung						
- Innerbetrieblich	634	639	347	26	1	399
- Ableitungen	73	41	66	10	0	77
Umgebungsüberwachung	561	259	256	17	56	96
Überwachung der Fortluft	2988	1168	1000	28	0	684
Überwachung der Raumluft	37688	37589	0	0	0	147
Dichtheitsprüfungen	93	0	0	29	0	64
Auftragsmessungen						
- Fortluftüberwachung für WAK	283	0	14	1	7	470
- Fortluftüberwachung für ZAG	126	126	0	0	0	126
- Interne Aufträge	1482	2	855	104	201	1060
- Externe Aufträge	82	0	40	8	26	64
Messungen für Arbeitsplatzüberwachung	43	0	57	0	26	18
Sondermessungen	249	1	0	0	0	278
Entwicklungsarbeiten	-	225	300	50	207	2
Qualitätssicherung	-	1720	2644	94	1385	704
Ringversuche	12	11	16	0	85	39

Tab. 5-9: Art und Anzahl der Proben sowie der 2007 in der Gruppe „Physikalisches Messlabor“ durchgeführten Einzelmessungen

5.7.2.4 Flüssigszintillationsspektrometrie

Für die Messung der reinen Beta-Strahler H-3, C-14, S-35, P-32, Ni-63 bzw. des K-Einfangstrahlers Fe-55 stehen drei Flüssigszintillationsspektrometer der Fa. Perkin Elmer Life Science zur Verfügung. Um die geforderten niedrigen Erkennungsgrenzen in annehmbarer Messzeit zu erreichen, können die Geräte in einem speziellen Low-Level-Modus betrieben werden. Eines der Geräte ist zur Reduzierung des Untergrundes zusätzlich mit einer aktiven Abschirmung ausgerüstet.

Die Rohdaten der Geräte werden von PCs übernommen und verrechnet. Die Ergebnisse werden protokolliert. Die Daten werden zusätzlich in Datenbanken auf einem zentralen Server abgelegt.

Mit dem in der Gruppe entwickelten Programm „LSC-Messungen“, das die Übernahme der Messwerte in die PCs verwaltet, können auch Spektren dargestellt und bearbeitet werden. Ebenso bietet dieses Programm Entfaltungsverfahren, um bei komplexen Multinuklidspektren Einzelaktivitäten abzuschätzen.

5.8 Chemische Analytik

5.8.1 Aufgaben

M. Pimpl

Die Gruppe „Chemische Analytik“ führt die nuklidspezifischen Bestimmungen für die Emissions- und Immissionsüberwachung des Forschungszentrums aus, bei denen radiochemische Analysenverfahren zur Probenpräparation notwendig sind. Darüber hinaus werden radiochemische Analysen für die Bereiche der „Arbeitsplatzüberwachung“ zur Bestimmung der Nuklidvektoren oder bei Zwischenfällen durchgeführt. Weiterhin werden nuklidspezifische Analysen durchgeführt, die im Rahmen der Freigabe radioaktiver Reststoffe aller Art erforderlich sind.

Für die Fortluft-, Abwasser- und Umgebungsüberwachung des Forschungszentrums werden verschiedene Radionuklide im Low-level-Bereich mittels radiochemischer Analysenverfahren aus verschiedenen Probenmaterialien wie Aerosolfiltern, Pflanzen, Böden, Sedimenten und Wasser abgetrennt und nuklidspezifisch gemessen. Routinemäßig werden die Radionuklide Pu-238, Pu-239/240, Pu-241, Sr-89, Sr-90, C-14, S-35 und K-40 erfasst.

Zur Freigabe von Materialien nach § 29 StrlSchV und zur Wiederverwendung nach § 44 StrlSchV werden Bestimmungen von U-238, U-235, U-234, Pu-238, Pu-239/240, Pu-241, Am-241, Cm-242, Cm-244, Sr-90, C-14, H-3, Fe-55 und Ni-63 mit niedrigen Nachweisgrenzen in allen für Freigabemessungen relevanten Probenmaterialien durchgeführt. Auch Th-228, Th-230 und Th-232 können bei Bedarf radiochemisch bestimmt werden, ebenso Ra-226, Pb-210 und Po-210. Wie schon im Vorjahr war auch in 2007 der Aufwand für radiochemische Analysen zur Freigabe deutlich höher als der für interne Messungen für andere Strahlenschutzaufgaben. Die Anzahl an Analysen zur Ermittlung des Nuklidvektors einer Anlage oder eines Instituts durch Bestimmung des Aktivitätsgehaltes aller interessierenden Radioisotope in einer Stichprobe oder in mehreren repräsentativen Proben ist in 2007 weiter zurückgegangen.

Zu den Routineaufgaben der Gruppe „Chemische Analytik“ gehören des Weiteren die Beschaffung der benötigten radioaktiven Stoffe, die Herstellung von Kalibrierstandards und die Bilanzierung des Bestands an radioaktiven Stoffen für die Gruppen „Chemische Analytik“ und „Physikalisches Messlabor“ der Abteilung HS-ÜM. Weiterhin werden außer begleitenden Arbeiten zur Qualitätssicherung zusätzlich auch Entwicklungsarbeiten zur Verbesserung bestehender Verfahren und zur Einführung neuer Methoden geleistet. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens der Gruppe KES (Kompetenzerhalt Strahlenschutz) werden Analysemethoden zur Bestimmung von Alpha- und Beta-Strahlern in unterschiedlichen Materialien im low(est)-level Bereich erstellt und optimiert. Zeit- und Kostenaufwand sollten deutlich gesenkt werden können, wenn die für die Analyse erforderliche Probenmenge auf etwa 1 bis 2 g begrenzt und damit die zeitaufwendige Probenvorbereitung mittels Mikrowellenaufschluss in deutlich kürzerer Zeit ausgeführt werden kann. An Freimessproben, insbesondere Bauschuttproben, die beim Rückbau kerntechnischer Anlagen in großer Zahl anfallen, wurden verschiedene Aufschlussverfahren getestet. Zur Bestimmung interessierender Alpha-Strahler wurden extraktionschromatographische Trennverfahren erprobt und optimiert, wodurch eine Simultanbestimmung dieser Alpha-Strahler in einer aufgeschlossenen Probe möglich wird.

Neben diesen Routineaufgaben werden nuklidspezifische Bestimmungen gegen Berechnung auch für externe Auftraggeber durchgeführt. Zur Überprüfung von Geräten und Methoden hat die Gruppe auch 2007 an verschiedenen Ringversuchen und Vergleichsmessungen teilgenommen, wobei durchweg gute Ergebnisse erzielt werden konnten.

5.8.2 Radiochemische Arbeiten

M. Pimpl, A. Bohnstedt, A. Hager, M. Kirsch, U. Malsch, P. Perchio, P. Steinbach, S. Vater

Die im Laufe des Jahres 2007 insgesamt in der Gruppe „Chemische Analytik“ durchgeführten Laborarbeiten sind in Tab. 5-10 aufgelistet. Abb. 5-9 vermittelt einen Überblick über die Verteilung des zeitlichen Aufwands für die 2007 angefallenen radiochemischen Arbeiten.

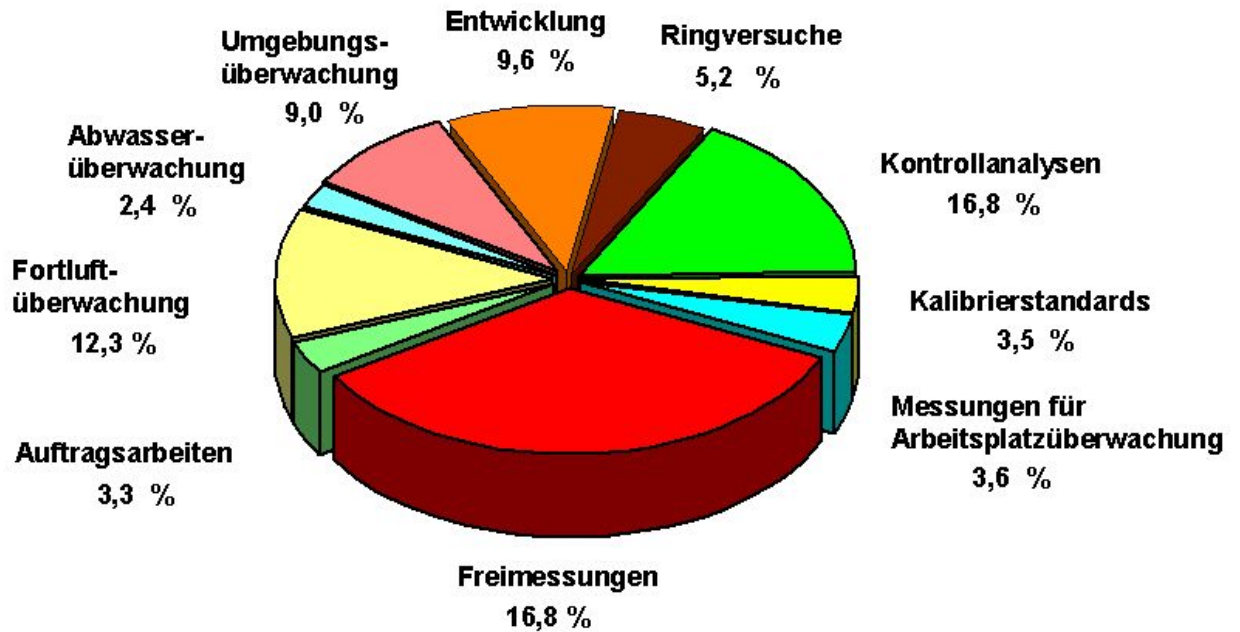


Abb. 5-9: Aufteilung der radiochemischen Arbeiten nach Zeitaufwand im Jahr 2007

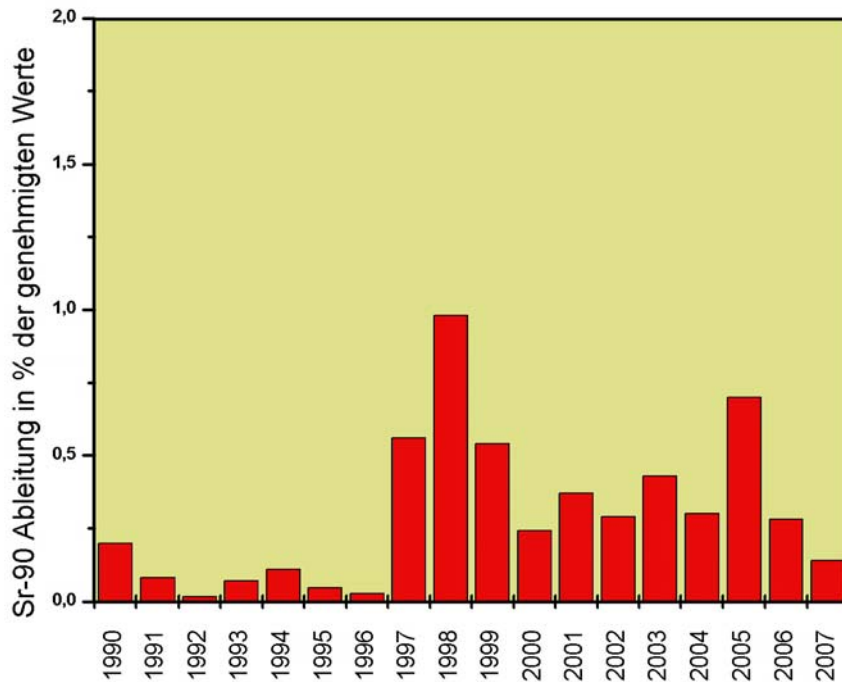


Abb. 5-10: Entwicklung der mit dem Abwasser aus dem Forschungszentrum jährlich abgeleiteten Aktivität an Sr-90 von 1990 bis 2007 in % der jeweils genehmigten Abgaben

Tätigkeitsgebiet	Art der Analysen	Anzahl der Bestimmungen
Umgebungsüberwachung	Pu-238, Pu-239/240	17
	Sr-89, Sr-90	9
	K-40	84
Abwasserüberwachung	Pu-238, Pu-239/240	1
	Pu-241	1
	Sr-89, Sr-90	4
	C-14, S-35	je 4
Fortluftüberwachung	C-14	255
	Sr-89, Sr-90	4
Freimessungen (Freigaben nach § 29 oder zur Weiterverwendung nach §44 StrlSchV)	U-238, U-235, U-234	10
	Pu-238, Pu-239/240, Pu-241	44
	Sr-90	55
	Fe-55, Ni-63	je 5
	C-14	10
	H-3 (Austausch / Ausheizen)	307 / 2
Messungen für Arbeitsplatzüberwachung	Pu-238, Pu-239/240, Pu-241	7
	Sr-89, Sr-90	8
	Fe-55, Ni-63	je 4
Kalibrierstandards	K, Po, Th, U, Pu, Am, Cm	24
	Sr, Fe, Ni, Ra	15
Kontroll- und Vergleichsanalysen	Sr-89, Sr-90	17
	Pu (α -Strahler), Pu-241	18
	U (α -Strahler)	33
	Am-241, Cm-242, Cm-244	2
	Th (α -Strahler)	5
	Po-210	4
	C-14, S-35 (Abwasser)	je 1
	C-14 (Fortluft)	10
	Fe-55, Ni-63	je 4
	Blindelektrolysen	323

Tätigkeitsgebiet	Art der Analysen	Anzahl der Bestimmungen
Ringversuche	U (α -Strahler)	7
	Pu (α -Strahler)	3
	Am/Cm	13
	Sr-89, Sr-90	6
	Fe-55, Ni-63	je 4
Entwicklungsarbeiten	Th, U, Pu, Am, Cm	68
	Ra-226, Sr-89/90	20

Tab. 5-10: Arbeiten der Gruppe „Chemische Analytik“ im Jahr 2007

Im Berichtszeitraum wurde wöchentlich die Fortluft der Verbrennungsanlage der HDB (Bau 536), der LAW-Eindampfanlage (Bau 545), der Anlagen zur Gerätedekontamination und Verschrottung der HDB (Bau 548 Ost und West) und des MZFR auf C-14 überwacht. Aus der Verbrennungsanlage wurden im gesamten Jahr 2007 nur 1,9 % der nach Abluftplan zulässigen C-14-Ableitungen von 1,4 TBq emittiert, aus den Anlagen zur Gerätedekontamination und Verschrottung der HDB (Bau 548 Ost und West) lediglich 3,7 % von zulässigen 50 GBq C-14. Aus dem Anlagen MZFR und der LAW-Eindampfanlage wurden 2007 keine messbaren C-14-Aktivitäten mit der Fortluft abgegeben.

Zur Bilanzierung der mit dem Abwasser abgeleiteten radioaktiven Stoffe wurden in Quartalsmischproben aus den Endbecken der Kläranlage Sr-Isotope sowie C-14 und S-35 bestimmt. Wie im Vorjahr wurden auch im Jahr 2007 in den Abwassermischproben keine messbaren Konzentrationen an S-35 und C-14 gefunden. Die Erkennungsgrenze lag für S-35 bei 4,1-7,4 Bq/l und für C-14 bei 1,7-1,8 Bq/l. Die Sr-89-Aktivitätskonzentration lag in allen 4 Quartalsproben unter den erreichten Erkennungsgrenzen, die zwischen 0,02 und 0,04 kBq/m³ lagen.

Nur für Sr-90 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,06 und 0,37 kBq/m³ gemessen. Im Jahr 2007 wurden insgesamt 4,05 MBq Sr-90 mit dem Abwasser abgeleitet. Die Ableitung von Sr-90 mit dem Abwasser liegt bei 0,14 % der genehmigten Ableitungen von 3 GBq und ist auch 2007 deutlich geringer als in den Jahren 1997-1999, wie aus Abb. 5-10 ersichtlich ist.

Zur Überwachung der Plutoniumkonzentrationen der bodennahen Luft wurden an den Aerosolsammelstellen Messhütte "Südwest", Messhütte "Nordost" und "Forsthaus" Quartalsproben gesammelt, wobei Erkennungsgrenzen erreicht wurden, die zwischen 0,04 und 0,14 μ Bq/m³ lagen. An allen 4 Aerosolsammelstellen wurden in allen 4 Quartalsproben nur Werte unter den Nachweisgrenzen ermittelt. Die erreichten Nachweisgrenzen lagen dabei zwischen 0,07 und 0,22 μ Bq/m³ sowohl für Pu-238 als auch für Pu-239/240.

Auch 2007 wurden, wie schon in 2006, nur sehr wenige Auftragsarbeiten, die nach einer aufwandsbezogenen Gebührentabelle in Rechnung gestellt werden, durchgeführt. Außer den vierteljährlich anfallenden Sr-89/90-Analysen von Fortluftfiltern für das Hochtemperatur-Kernkraftwerk Hamm wurden zusätzlich nur einzelne Analysen gegen Verrechnung durchgeführt.

5.9 Raumluftüberwachung

E. Rückert-Kammerichs, K. Schultze, Chr. Wilhelm

Die Inkorporationsüberwachung im Jahr 2007 wurde gemäß der „Strahlenschutzanweisung des Sicherheitsbeauftragten zur Inkorporationsüberwachung“ des Forschungszentrums durchgeführt. Diese erfolgte gemäß der im Jahr 2007 in Kraft getretenen „Richtlinie für die physikalische

Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis, Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition“. Danach ist eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung nur notwendig, wenn zu besorgen ist, dass infolge von inkorporierten Radionukliden jährliche Körperdosen (50-Jahre-Folge-Dosis) von mehr als 1 mSv auftreten können. Durch tägliche Messungen der Aktivitätskonzentration in der Raumluft am Arbeitsplatz und bei einigen Einrichtungen zusätzlich durch einmal jährlich je eine Messung der Aktivität im Stuhl und in Urin wird nachgewiesen, dass im Forschungszentrum Karlsruhe für keine Person eine Erfordernis für die Ermittlung personenbezogener Werte der Körperdosis besteht.

5.9.1 Probenentnahme

Zur routinemäßigen Überwachung werden Aerosolsammler eingesetzt, die an repräsentativen Stellen in allen Bereichen mit potenziellen Raumluft-Kontaminationen installiert sind. Die Sammler saugen die Raumluft mit Durchsatzraten zwischen 25 m³/h und 70 m³/h über ein Aerosolfilter mit einem Durchmesser von 20 cm an. Die Filter werden arbeitstäglich oder wöchentlich gewechselt. Die Dateneingabe für das Messsystem in die SQL-Datenbank erfolgt mit einer Web basierenden Intranet-Anwendung, über die vor Ort der Luftdurchsatz, die Sammelzeit, der verwendete Atemschutz und die effektive Arbeitszeit zu den Raumluftfiltern eingegeben werden.

5.9.2 Probenauswertung

Im Jahr 2007 wurden 37 600 Filter mit Pseudokoinzidenzanlagen auf künstliche α - und β -Aktivität ausgemessen. Als untere Messschwelle wurde bei α -Aktivität 7 mBq/m³ und bei der β -Aktivität 5 Bq/m³ gewählt. Damit ist bei einem nach der Strahlenschutzverordnung angenommenen Jahres-Inhalationsvolumen von 2400 m³, das aber in der Praxis wegen kürzerer Aufenthaltszeiten weit unterschritten wird, eine α - und β -Aktivitätszufuhr nachweisbar, die 10 % des Grenzwertes der Teilkörperdosis Knochenoberfläche für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A – bezogen auf Pu-239, löslich, und Sr-90, löslich – entspricht. Dieser Grenzwert wurde im Berichtszeitraum in keiner Anlage des Forschungszentrums erreicht.

Konnte die Messschwelle von 7 mBq/m³ für die künstliche α -Aktivität aufgrund der auf den Filtern vorhandenen natürlichen Aktivität nicht erreicht werden, wird eine Nachmessung des betreffenden Filters am folgenden Tag durchgeführt. Dadurch ergibt sich eine Anzahl von Messungen die ca. 25 % größer ist als die Anzahl an Filter. Die Häufigkeitsverteilung der Aerosolaktivitätskonzentration in der Raumluft ist in der nachfolgenden Grafik und Tabelle wiedergegeben. Als untere Grenze der Klasseneinteilung wurde wie im Vorjahr 12 mBq/m³ gewählt.

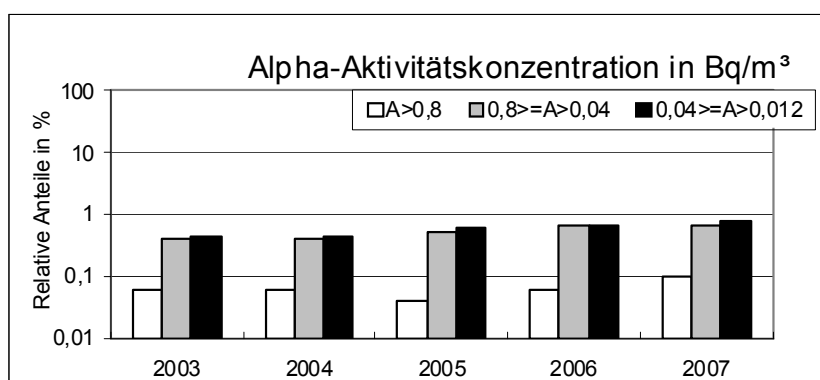


Abb. 5-11: Verlauf der Häufigkeitsverteilung der α -Aerosolaktivitätskonzentrationen in der Raumluft oberhalb der Messschwelle in den Jahren 2003 bis 2007

Aktivität	Aktivitätsgrenzen in Bq/m ³	Anteil an der Gesamtzahl in %
α-Aktivität	A > 0,8	0,10 (0,06)
	0,8 ≥ A > 0,04	0,69 (0,65)
	0,04 ≥ A ≥ 0,012	0,79 (0,70)
	A < 0,012	98,42 (98,59)
β-Aktivität	A > 800	0 (0)
	800 ≥ A > 40	0,00 (0,00)
	40 ≥ A ≥ 10	0,01 (0,01)
	A < 10	99,99 (99,99)

Tab. 5-11: Verlauf der Häufigkeitsverteilung der Aerosolaktivitätskonzentration in der Raumluft im Jahr 2007. Die in Klammern angegebenen Werte sind die des Vorjahres.

5.10 Dichtheitsprüfungen

K. Schultze

5.10.1 Voraussetzungen

Die Abteilung Überwachung und Messtechnik hat die Aufgabe an umschlossenen Strahlern, die sich im Besitz des Forschungszentrums befinden, Dichtheitsprüfungen durchzuführen. Hierfür liegt der Hauptabteilung Sicherheit eine Entscheidung des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 13. November 2006 vor, der es erlaubt Dichtheitsprüfungen nach § 66 (4) Satz 1 StrlSchV an Strahlern, die sich im Besitz des Forschungszentrum befinden, selbst durchzuführen. Davon ausgenommen sind alle hochradioaktiven Quellen. Diese müssen von externen Gutachtern geprüft werden. Als Prüfgrundlage dient DIN 25426 Teil 4. Danach müssen alle umschlossenen Strahler oberhalb des 100fachen der Freigrenze jährlich einer Dichtheitsprüfung unterzogen werden. Bei gasförmigen Strahlern und bei radioaktiven Stoffen mit Halbwertszeiten bis zu 100 Tagen kann auf die Durchführung der Dichtheitsprüfung verzichtet werden.

5.10.2 Probenentnahme

Das zu wählende Prüfverfahren wird gemäß DIN 25426 und den Gegebenheiten des Strahlers festgelegt. Als Prüfverfahren werden für die Strahler Wischprüfungen, Tauchprüfungen oder die Emanationsprüfung angewandt. Die Dokumentation der Festlegung und die Terminverfolgung erfolgt über das Buchführungsprogramm für radioaktive Stoffe - BURAST. Über dieses System werden die Mitarbeiter vor Ort zur Sichtprüfung und Probenahme aufgefordert. Die Mitarbeiter kontrollieren die Strahler auf Schäden und tragen die Ergebnisse der Sichtprüfung in das Programm ein.

5.10.3 Probenauswertung

Die Proben werden je nach Strahlenart im Proportionalzähler (evtl. nach Eindampfen), durch γ-Spektroskopie oder durch Flüssigszintillationsmesstechnik ausgewertet. Die Anzahl der geprüften Strahler ist in Tab. 5-12 nach Nuklid und Institution sortiert aufgeführt. Im Berichtszeitraum wurde kein undichter Strahler gefunden.

	Cs-137	Am-241	Str-90	Co-57	Cf-252	Fe-55	Po-210	Pb-210	Co-60	Ba-133	Pm-147	Sm-151	Eu-152	Np-237	α -Gemisch	sonst. Gemisch	Summe
HS-KES	9	2	11		2			1			1			1			27
FTU	9	1	3		2		1	1					1				18
HS-UEM	8	2													4		14
IK	1	8	3			1						1					14
HDB	6	4							1	1						1	13
INT				7													7
MZFR	3		1														4
IMK-AAF		1					2										3
IMF II-FML	1																1
ISS						1											1
ITC-TAB		1															1
Summe	37	19	18	7	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1	4	1	102

Tab. 5-12: Anzahl der im Jahr 2007 durchgeführten Dichtheitsprüfungen an umschlossenen Strahlern

- 6 Kompetenzerhalt im Strahlenschutz
 - 6.1 Nachweis von Radionukliden im low(est)-level-Bereich
 - 6.1.1 Radiochemische Analytik
 - 6.1.1.1 Bestimmung von schwer nachweisbaren Radionukliden in unterschiedlichen Materialien im low(est)-level Bereich
- A. Bohnstedt

Zum Ende des Projekts 'Bestimmung von schwer nachweisbaren Radionukliden in unterschiedlichen Materialien im low(est)-level-Bereich' im Rahmen eines Forschungsvorhabens der Gruppe KES (Kompetenzerhalt Strahlenschutz) wurde mit den für den Nachweis von Uran, Plutonium Americium/Curium und Thorium entwickelten Verfahren (siehe [Urb06]) an einem Ringversuch teilgenommen zwecks Überprüfung der ausgearbeiteten Methoden. Hierzu wurde die 'NPL Environmental Radioactivity Proficiency Test Exercise 2007' des National Physical Laboratory (Teddington/United Kingdom) gewählt. Von den verschiedenen zur Verfügung stehenden Testproben war die nachstehend beschriebene, von NPL als 'Alpha Low (AL)' bezeichnete Lösung bezüglich der Nuklidzusammensetzung die am besten geeignete Lösung.

Alpha Low (AL): 500 g aqueous sample in HDPE bottle

Nuclides 1 – 20 Bq/kg

Ra-226, Np-237, U-238, Pu-238, Pu-239, Am-241 and Cm-244

Diese Lösung wurde vom National Physical Laboratory hergestellt durch Mischen von standardisierten Radionuklidlösungen, die Ra-226, Np-237, U-238, Pu-238, Pu-239, Am-241 und Cm-244 enthalten, bzw. 2 verschiedene Pu-240 und eine Pu-241 Lösung, diese Nuklide waren aber nicht zur Bestimmung vorgesehen. Die chemische Form der Alpha-Low-Gesamtlösung war 2 molare Salpetersäure. Weiter Informationen zu den verschiedenen Radionuklidlösungen sowie deren Validierung mittels Flüssig-Szintillations-Messungen sind in dem Bericht "NPL Report IR 8; Environmental Radioactivity Proficiency Test Exercise 2007; A. Harms and Ch. Gilligen; April 2008" im Appendix C 'Source Preparation' unter 'C1 AL Samples' zu finden. (Aus urheberrechtlichen Gründen dürfen nur die eigenen Ergebnisse aus dem Bericht hier abgedruckt werden. Weitere Daten können unter <http://www.npl.co.uk/server.php?show=ConWebDoc.2309> dem NPL Report entnommen werden.)

Mit den im letzten HS-Jahresbericht ausführlich beschriebenen Methoden ([Urb06] s.o., Seite 66-67)) wurden in der Testlösung die Aktivitäten von U-238, Pu-238, Pu-239, Am-241 und Cm-244 bestimmt.

Dazu wurden von der AL-Probe zwei Mal 100 ml abpipettiert und gewogen. Eine 100 mL-Probe wurde mit U-232-Tracer, zur Bestimmung der Ausbeute von U-238, und Am-243-Tracer, sowohl als Ausbeutetracer für Am-241 als auch für Cm-244, versetzt. Um die Zeit für die Abtrennung und Reinigung von U-232-Spuren aus dem in der Gruppe Chemische Analytik vorhandenem Pu-236-Tracer zu sparen (Beeinträchtigung des U-232-Tracers), wurde die zweite 100 mL-Probe nur mit Pu-236-Tracer versetzt. Danach wurden beide Proben eingedampft, chemisch aufgeschlossen und anschließend parallel mit beiden Lösungen der komplette Trennungsgang abgearbeitet. Die am Ende gemessenen und errechneten Aktivitäten für die Nuklide U-238, Pu-238, Pu-239, Am-241 und Cm-244 wurden in ein vorgefertigtes Ergebnisprotokoll eingefügt und dieses an NPL geschickt.

Nach Auswertung aller Ergebnisse der weltweit 65 Teilnehmer wurden diese in einem Bericht (NPL Report IR 8, s. o.) zusammengefasst und veröffentlicht. Zur Wahrung der Anonymität der teilnehmenden Labore (Teilnehmerliste nur als Appendix N im Report) wurde zu Beginn des

Ringversuchs jedem Labor eine Nummer zugeordnet (FZK-HS: **Laboratory 71**), unter der auch die Ergebnisse im NPL Report zu finden sind.

	Result	Assigned result	Zeta score	z-score	Deviation (%)
	(Bq kg ⁻¹)	(Bq kg ⁻¹)			
U-238 AL	3.37(19)	3.72(9)	-1.70	-1.51	-9(6)
Pu-238 AL	16.7(4)	17.13(8)	-1.07	-0.46	-2.5(24)
Pu-239 AL	19.1(5)	19.59(12)	-0.96	-0.45	-2.3(24)
Am-241 AL	10.8(3)	10.07(4)	2.51	1.21	7(3)
Cm-244 AL	8.80(21)	13.20(6)	-20.17 D	-5.69 D	-33.3(16)

Tab. 6-1: NPL Report IR 8: Table B49 – Laboratory 71

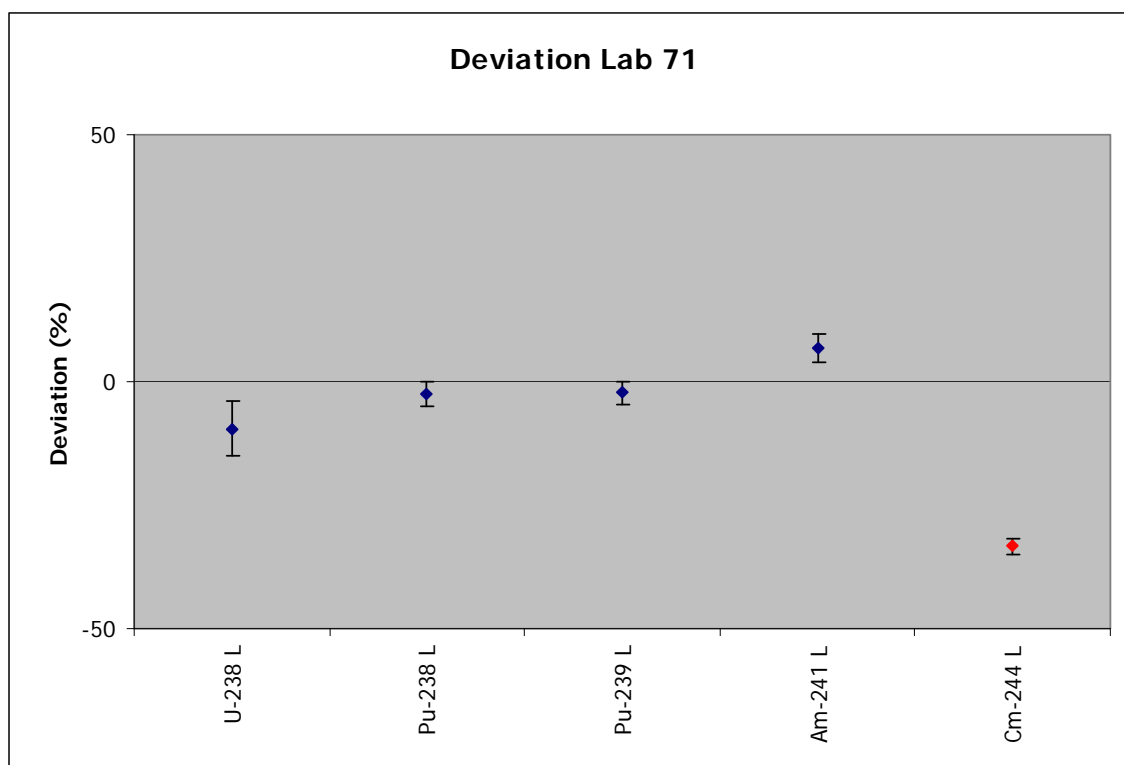


Abb. 6-1: NPL Report IR 8: Figure 119 – Laboratory 71

Für die eigenen (siehe Tab. 6-1 und Abb. 6-1) U-238, Pu-238, Pu-239 und Am-241 Bestimmungen waren die Ergebnisse 'results in agreement' und für die Cm-244 Bestimmung ergab sich ein 'discrepant result' (Bewertungskriterien siehe Kapitel 2.6 'Treatment of data for aqueous samples', NPL Report IR 8). Somit konnten für 80 % der Ergebnisse ein 'results in agreement' erzielt werden (NPL Report IR 8, Kapitel 3 'Results and Discussion/3.1 AL and AH samples'). Von allen Teilnehmern an der AL-Testprobe wurde zu 74 % 'results in agreement' erreicht (NPL Report IR 8, Kapitel 3.6 'Result Summary Tab. 3.1 – Results AL').

6.1.2 Physikalische Messverfahren

6.1.2.1 Eine Methode für die Aktivitätsbestimmung von Alphastrahlern mittels GIK-Spektrometrie

A. Herzenstiel, Chr. Wilhelm

Neben Halbleiterdetektoren und Großflächen-Proportionalzählern stehen dem Physikalischen Messlabor für die Alpha-Spektrometrie zwei Gitterionisationskammern (GIK) zur Verfügung. Diese Gitterionisationskammern werden in der Abwasserüberwachung (siehe Kap. 7.2.2) und für Übersichtsmessungen zur Alphaspektroskopie, das heißt zur Bestimmung der Energieverteilung der Alphastrahler eingesetzt. Über das so gewonnene Energiespektrum werden dann die dafür infrage kommenden Radionuklide bestimmt. Im Rahmen einer Studien- und der anschließenden Diplomarbeit wurde das Mess- und Auswerteverfahren dahingehend erweitert, dass nicht nur die Radionuklide, sondern auch die Aktivität der einzelnen Radionuklide in den Proben rückführbar ermittelt werden können.

Das Besondere einer Gitterionisationskammer ist, dass alle Impulse unabhängig vom Entstehungsort den gleichen Beitrag zum Ausgangssignal beitragen. Als erster umgesetzt hat dies O.R. Frisch, indem er ein aus dünnen Drähten gespanntes Gitter auf ein festes Zwischenpotential zwischen Anode und Kathode gelegt hat (siehe Abb. 6-2). Vor einer Messung muss die Kammer mehrmals evakuiert und mit Zählgas gespült werden, da bereits kleinste Gasverunreinigungen zu Energieverschiebungen führen und das Spektrum beeinträchtigen können.

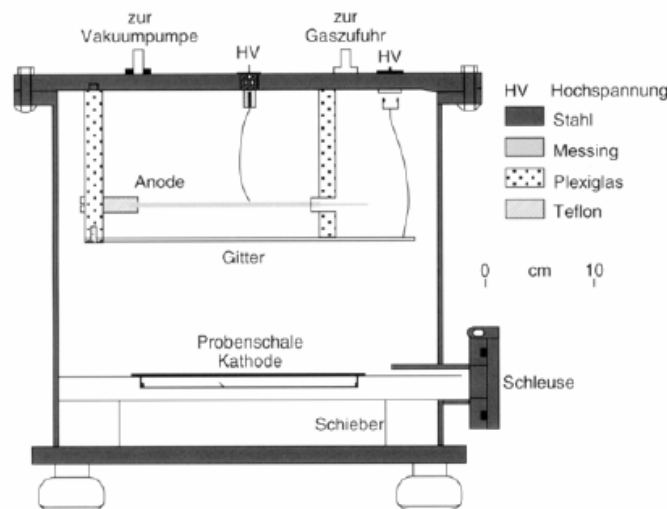


Abb. 6-2: Schematischer Aufbau einer Gitterionisationskammer

Trotz der großen Detektoroberflächen von ca. 300 cm^2 der Gitterionisationskammern des Messlabors und der hohen Zählausbeuten wird eine gute Energieauflösung erreicht. Wenn es gelingt, die Probe möglichst homogen und dünnschichtig über die empfindliche Detektorfläche zu verteilen, kann auf zeitaufwendige radiochemische Trennschritte verzichtet werden. Somit ermöglichen die Kammern eine schnelle, nuklidspezifische Bestimmung von großflächigen Proben mit einem Durchmesser von 200 mm. Die Probenvorbereitung besteht meist nur aus einfachen mechanischen Schritten wie Eindampfen von Abwasserproben oder Trocknen von Aerosolfiltern. Schwierigkeiten bereitet jedoch die Selbstabsorption im Probenmaterial, die dazu führt, dass die Peaks auf der niederenergetischen Seite über einen großen Energiebereich abfallen. Mit der Westmeier Software ALPS können die dadurch auftretenden Peak-Überschneidungen entfaltet und die Peakform mit den vom Programm berechneten Fittfunktionen gut wiedergegeben werden. Abb. 6-3 zeigt die einzelnen Peak-Fittfunktionen sowie die Summenfunktion eines Nuklidgemischs aus U-233, Pu-239, Am-241 und Cm-244 unter Verwendung der Westmeier Software.

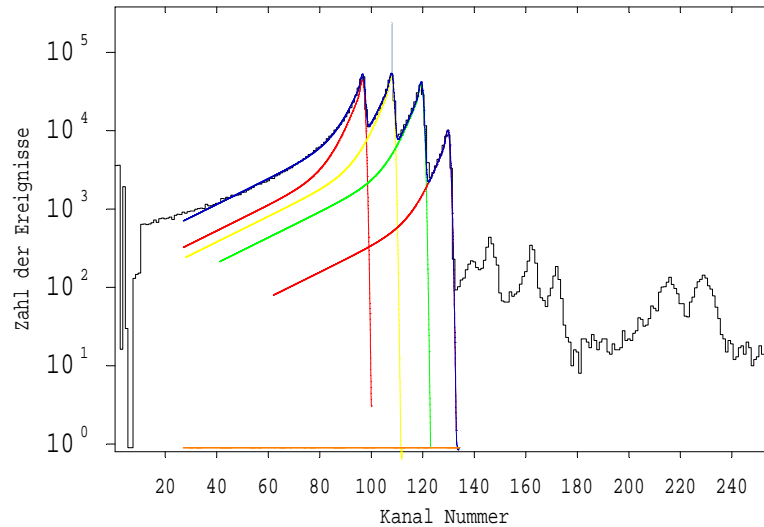


Abb. 6-3: Auswertung eines gemessenen Nuklidgemischs mit ALPS, Darstellung der einzelnen Peak-Fittfunktionen sowie die Summenfunktion (blau)

Der Wirkungsgrad liegt für beide Detektoren knapp über 40 %. Anhand des Spektrums eines Am-241-Präparats wird eine Messunsicherheit von ca. 16 % und eine Nachweisgrenze für Am-241 von 30 mBq ermittelt. Liegt zusätzlich zum Nulleffekt mindestens ein höherenergetischer Peak vor, muss der Einfluss des Low Tails, die durch die Absorption der Alphastrahlung in der Probe selbst verursacht werden, auf den Untergrund mit berücksichtigt werden. Ein Vergleich der von ALPS berechneten Aktivitäten mit anderen, bereits im Labor akkreditierten Messverfahren wie z.B. mit der Gammaskopimetrie oder Alpha/Beta-Gesamt-Messungen zeigt eine gute Übereinstimmung. Die Rückführbarkeit der Aktivität sowie die erste Validierung der Methode sind damit gegeben. Die Methode kann gegebenenfalls für eine Erweiterung der Akkreditierung des Physikalischen Messlabors nach ISO/IEC 17025 verwendet werden. Da diese Methode keine Standardmethode ist und hierfür keine Normen oder vergleichbare Regeln vorliegen, wurde für die Auswertung eine umfangreiche Methodenbeschreibung, samt zugehörigen Arbeitsanleitungen erstellt. Sobald die Validierung dieser Methode vollständig ist, könnte diese Methode auch akkreditiert werden.

6.2 Dosimetrie zur Messung äußerer Strahlenexposition

6.2.1 Bestimmung von Gammadosen in gemischten Photonen-Neutronen-Strahlenfeldern und Energiekompensationsfilter für CaF₂:Tm-Detektoren

F. Becker

Felder thermischer und epithermischer Neutronen in Reaktoren beinhalten einen relativ kleinen Gammadosisanteil. Für eine genaue Bestimmung der Gesamtdosis, insbesondere in Strahlenfeldern hoher Intensität, muss sowohl die Neutronen- als auch die Gammakomponente berücksichtigt werden. In der Vergangenheit wurden verschiedene Untersuchungen mit Thermolumineszenzdetektoren (TLDs) durchgeführt. Danach sind CaF₂:Tm Detektoren (TLD-300) besonders geeignet, da sie besonders unempfindlich für thermische Neutronen sind. Der Nachteil ist aber, dass sie nicht gewebeäquivalent sind. Letzteres lässt sich durch Energiekompensationsfilter beheben.

In diesem Bericht ist kurz das Ergebnis der Publikation [Bec08] dargestellt (Details, die relevanten Referenzen und beteiligten Kollaborationspartner sind dort genannt). Es geht um die Kalibrierung von TLD-300 mit Energiekompensationsfiltern im PTB-Referenzfeld für thermische Neutronen und um erste Testexperimente am Forschungsreaktor TRIGA Mainz.

Zur Bestimmung des Dosisanteils von Photonen in gemischten Photon-Neutronfeldern ist auch die Kenntnis des Ansprechvermögens R_{th} für thermische Neutronen wichtig. Damit kann beim Einsatz zur Photonendosismessung der Messwertanteil durch die thermischen Neutronen subtrahiert werden, der bei den hohen Neutronenfluenzen nicht mehr zu vernachlässigen ist. Wird der Detektor mit Energiekompensationsfiltern eingesetzt, interessiert auch deren Einfluss auf das Messergebnis hinsichtlich Abschirmung und einer möglichen Aktivierung durch thermische Neutronen. Im von der PTB betriebenen Neutronenreferenzfeld in Geesthacht (GeNF: Geesthacht Neutron Facility) wurden diesbezügliche Untersuchungen durchgeführt.

Durch Voruntersuchungen zur Energiekompensation hat sich die Kombination von TLD-300 frei in Luft und von TLD-300 in einer Sn-Kapsel als geeignete Wahl herausgestellt. Die Ergebnisse lauten wie folgt (Referenz ist Cs-137, Luft-Kerma):

- TLD-300 frei in Luft: $R_{th} = (2.0 \pm 0.2) \cdot 10^{-10} \text{ mGy} \cdot \text{cm}^2$
- TLD-300 in Sn-Kapsel: $R_{th} = (9.2 \pm 0.8) \cdot 10^{-10} \text{ mGy} \cdot \text{cm}^2$.

Der höhere Messwert der Sn-Kapsel ist durch eine kurzlebige Aktivierung des Kapselmateriale bedingt. Die langlebigste Komponente wurde nach dem Experiment gammaspektroskopisch als In-116m ($T_{1/2} = 54 \text{ min}$) identifiziert. Offensichtlich existieren geringe Spuren von In im Sn.

Mit diesen erstmals bestimmten Ansprechvermögen war es nachfolgend möglich, den Gamma-Anteil im gemischten Photonen-Neutronenstrahlungsfeld der thermischen Säule des TRIGA Mainz mit Bezug auf das PTB-Referenzfeld durchzuführen. Dies ist in Abb. 6-4 dargestellt.

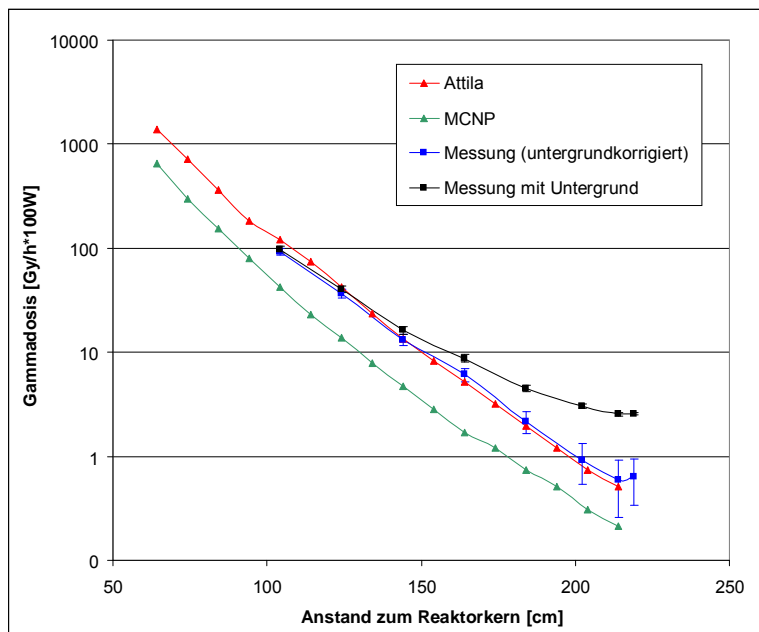


Abb. 6-4: Gemessene Photonendosis in der thermischen Säule des TRIGA Mainz im Vergleich zu Rechnungen mit den Simulationsprogrammen ATTILA und MCNP

Die experimentellen Ergebnisse, für die eine Fehlerabschätzung nach GUM durchgeführt wurde, stimmen gut mit den Simulationsergebnissen des ATTILA-Programms überein; Rechnungen basierend auf MCNP unterschätzten die Messwerte.

Zusammenfassend wurde erfolgreich eine Kalibrierung von TLD-300 mit Energiekompensationsfiltern im PTB-Referenzfeld durchgeführt. Dies war die Voraussetzung zur experimentellen Bestimmung des Photonenanteils in der thermischen Säule des TRIGA Mainz, welche wiederum als Validierung für Simulationsrechnungen diente. Dank dieser Arbeiten stehen nun Instrumente für zukünftige Projekte sowohl für Experimente als auch für Modellierungen zur Verfügung.

6.2.2 Neues $H^*(10)$ -Umgebungsdosimeter für Photonen

S. Nagels, F. Becker

Bis 2007 wurde für die Photonenumgebungsdosimetrie mit Thermolumineszenzdetektoren (Typ: TLD-700, LiF:Mg,Ti) eine zylinderförmige Kapsel (Durchmesser 15 mm, Höhe 13 mm) aus Polyethylen (PE) zur Messung der bis 2001 aktuellen Messgröße H_x eingesetzt. Vergleicht man das Energieansprechvermögen der H_x -Kapsel für $H^*(10)$, so zeigt diese ein deutliches Überansprechvermögen für Photonenenergien unterhalb von 50 keV. Durch die zylindrische Form der H_x -Kapsel zeigt sich insbesondere bei niedrigen Energien eine Richtungsabhängigkeit. Die Messgröße $H^*(10)$ ist jedoch laut Definition richtungsunabhängig. Daher wurde ein neues $H^*(10)$ -Umgebungsdosimeters für Photonen konzipiert. Aus wirtschaftlichen Gründen und zur einfacheren Handhabung sollte eine gleichzeitige Verwendung mehrerer Materialien als Multi-element-Kompensationsfilter vermieden werden. Eine neue Dosimeterhülle wurde entwickelt, welche nur aus einem Material besteht. Um die Richtungsunabhängigkeit zu gewährleisten, ist die Form einer Kugel gewählt worden. Durch einfache Vorberechnungen konnte die Materialauswahl zur Energiekompensation auf PE, PVC, Kupfer, Aluminium und Plexiglas (PMMA) eingegrenzt werden und anschließend wurden diese Materialien in für $H^*(10)$ geeignete Dicken in der Kalibrieranlage des FZK untersucht [Str03]. In der engeren Auswahl wären demnach auch Abdeckungen aus 60 μm Kupfer, 25 mm PE oder 1 mm Aluminium. In der Praxis lassen sich jedoch aus Cu bzw. Al keine so dünnen Abdeckungen in handhabbarer Größe herstellen. Eine Hülle mit 25 mm PE zeigt zwischen 50 und 100 keV ein zu niedriges Ansprechvermögen. PMMA hingegen ist ab einer Dicke von 15 mm als alleinstehendes Material gut geeignet. Das Überansprechvermögen im Vergleich zum TLD ohne Filter wird deutlich reduziert. Außerdem ist PMMA günstig und leicht zu bearbeiten. Die FZK- $H^*(10)$ -Gamma-Kugeln bestehen daher aus PMMA mit einem Durchmesser von 37 mm. Die Trennung in eine kleinere und größere Kugelhälfte mit Dichtring und Gewinde erlaubt es, in einem 5 mm großen Loch zwei TLD-700 Chips einzubringen (Abb. 6-5). Die Bestrahlung der TLD-700 in Prototypkugeln wurde mit Cs-137 sowie mit Röntgenphotonen der ISO-N-Serie an der Kalibrieranlage des FZK durchgeführt. Das resultierende $H^*(10)$ -Ansprechvermögen ist ebenfalls in Abb. 6-5 zu sehen. Die $H^*(10)$ -Gamma-Kugeln erreichen ein Ansprechvermögen im Rahmen von $\pm 20\%$ im Bereich von ca. 15 keV bis zu einem MeV.

Vom Arbeitskreis externe Dosimetrie des Fachverbandes für Strahlenschutz wurden an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Messvergleiche für $H^*(10)$ -Umgebungsdosimeter durchgeführt. Das dort in einem natürlichen Strahlungsfeld gefundene Ansprechvermögen der FZK- $H^*(10)$ -Gamma-Kugel lag in der ersten und zweiten halbjährlichen Messperiode bei 1,01 und bestätigt damit eine Eignung als einfaches und zuverlässiges Ortsdosimeter auch in der Umgebungsüberwachung.

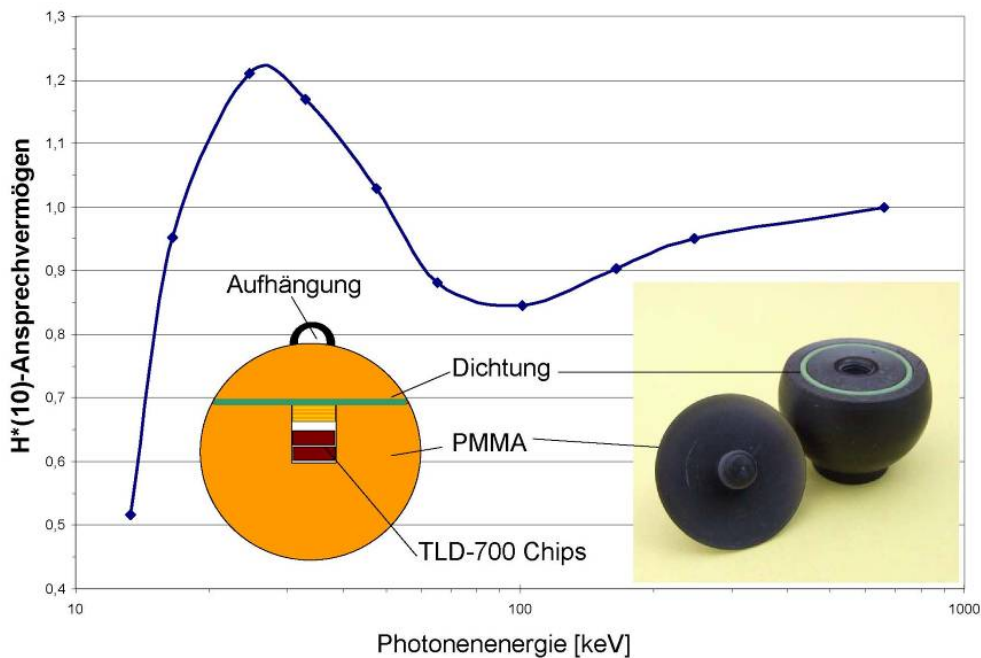


Abb. 6-5: Schematische Darstellung der $H^*(10)$ -Gamma-Kugel im Querschnitt mit zwei TLD-700 Chips im Zentrum, Foto der geöffneten $H^*(10)$ -Gamma-Kugel, sowie das $H^*(10)$ -Photonen-Ansprechvermögen der $H^*(10)$ -Gamma-Kugel normiert auf 662 keV von Cs-137

6.2.3 $H^*(10)$ -Ortsdosimeter für TLD-Karten

G. Fehrenbacher, S. Grosam, K. Vogt (GSI Darmstadt), F. Becker

Einige TLD-Auswertesysteme mit Detektorkarten arbeiten vollautomatisch. Die an der GSI verwendeten Karten beinhalten vier TLDs vom Typ LiF:Mg,Ti. Es wurden zunächst Strahlungstransportrechnung (Programm EGS4) durchgeführt [Feh07], um ein optimales $H^*(10)$ -Umgebungsäquivalentdosimeters mit Karten zu entwickeln. Durch Variation der Materialien und Geometrie konnte damit eine optimale Anordnung für das gewünschte $H^*(10)$ -Umgebungsäquivalentdosimeter gefunden werden. An der GSI tritt beispielsweise an den Ionenquellen des Beschleunigers niederenergetische Photonenstrahlung auf, so dass insbesondere auf den Energiebereich unter 100 keV geachtet wurde.

Ausgehend von den Ergebnissen der Simulationen wurde ein Prototyp gefertigt [Gro07] (Abb. 6-6). Er besteht aus zwei Hälften eines PE-Zylinders (Durchmesser 5 cm, Höhe 6 cm), in der eine TLD-Karte in eine zentrale Ausfräsung eingefügt ist. In beiden PE-Hälften sind 50 μm dicke Kupferfolien auf Höhe der oberen beiden TLDs platziert. Zum ersten Mal wurde der Prototyp unter Referenzbedingungen (Cs-137, sowie Röntgen-ISO-N-Serie) an der Kalibrieranlage des Forschungszentrums Karlsruhe untersucht [Gro07]. Die diesbezüglichen Simulationen (Programm FLUKA) und zugehörigen Messergebnisse stimmen gut überein (Abb. 6-7). Die TLDs im PE-Zylinder ohne Kupferfilter zeigen ein Überansprechvermögen bei niedrigen Energien (rote Messpunkte und grüne Simulationskurven), während sich für die TLDs hinter dem Kupferfilter in diesem Bereich zu niedrige Werte ergeben (blaue Messpunkte und hellblaue Simulationskurve). Erst eine Gewichtung der TLD-Anzeigen von 45 % mit Kupferfilter und 55 % ohne Kupferfilter ergibt ein akzeptables Ansprechvermögen für das Dosimeter auch bei niedrigen Energien (Abb. 6-8). Aufgrund der räumlichen Ausdehnung der TLD-Karten und der Zylinder-

form liegt keine Kugelsymmetrie vor. Daher unterscheiden sich die Kurvenverläufe, die unter 0° bzw. 75° gemessen wurden (Abb. 6-7 und Abb. 6-8).

Insgesamt zeigt sich, dass bei diesem zylinderförmigen $H^*(10)$ -Ortsdosimeter für TLD-Karten der Einsatz von Kupferfiltern eine geeignete Methode darstellt, um ein $H^*(10)$ -Ansprechvermögen im Rahmen von $\pm 20\%$ im Bereich von ca. 15 keV bis einigen MeV zu erreichen.

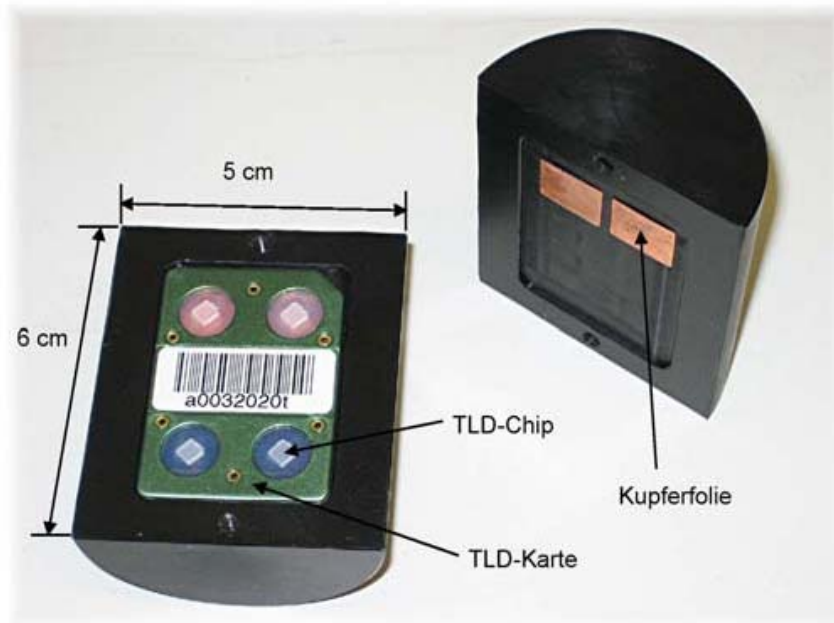


Abb. 6-6: Querschnitt des an der GSI eingesetzten zylinderförmigen $H^*(10)$ -Ortsdosimeters mit TLD-Karte und Kupferfilter (nach [Gro07])

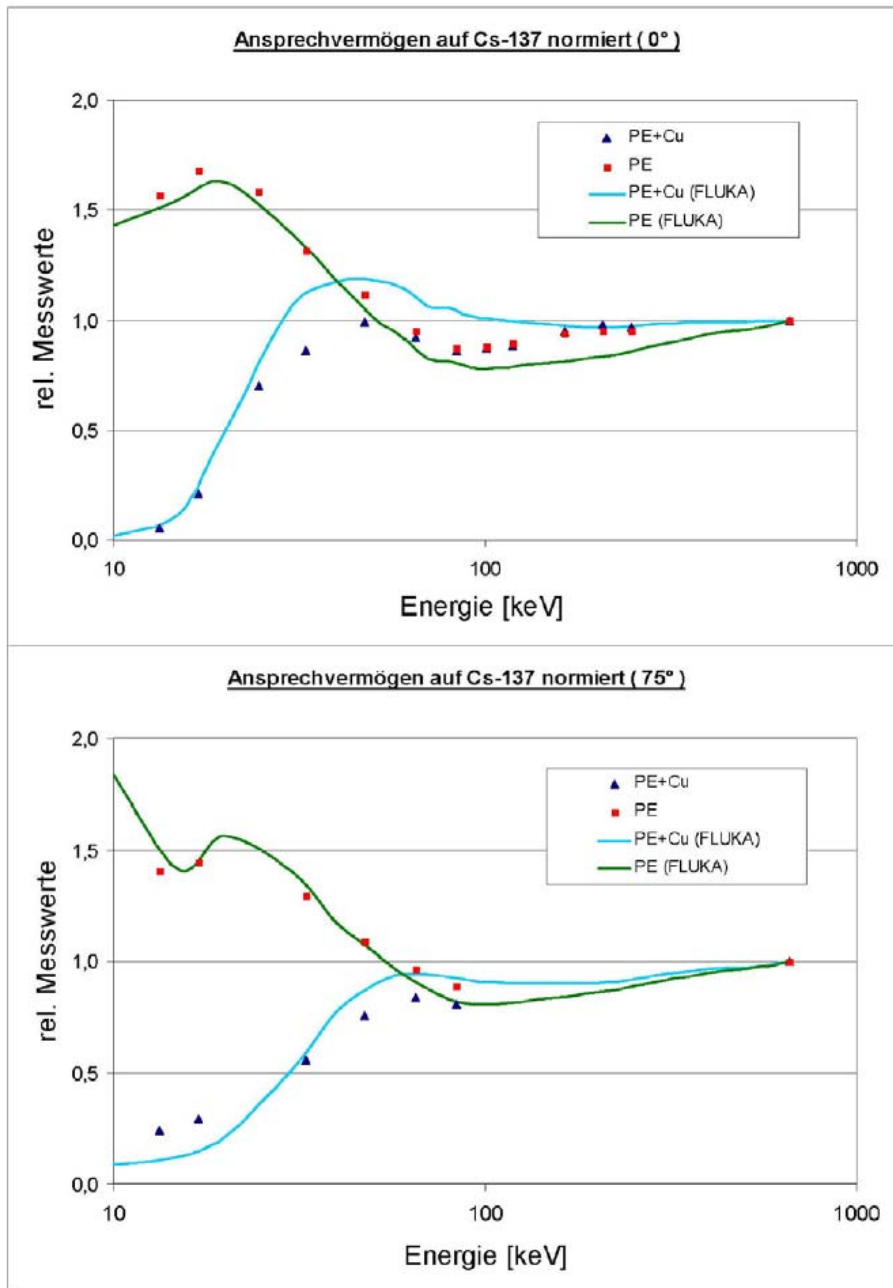


Abb. 6-7: Vergleich des mit FLUKA simulierten (hellblaue und grüne Kurven) und gemessenen (blaue und rote Punkte) $H^*(10)$ -Ansprechvermögens für den GSI Ortsdosimeterprototypen für die Strahleneinfallswinkel 0° (oben) und 75° (unten) (nach [Gro07])

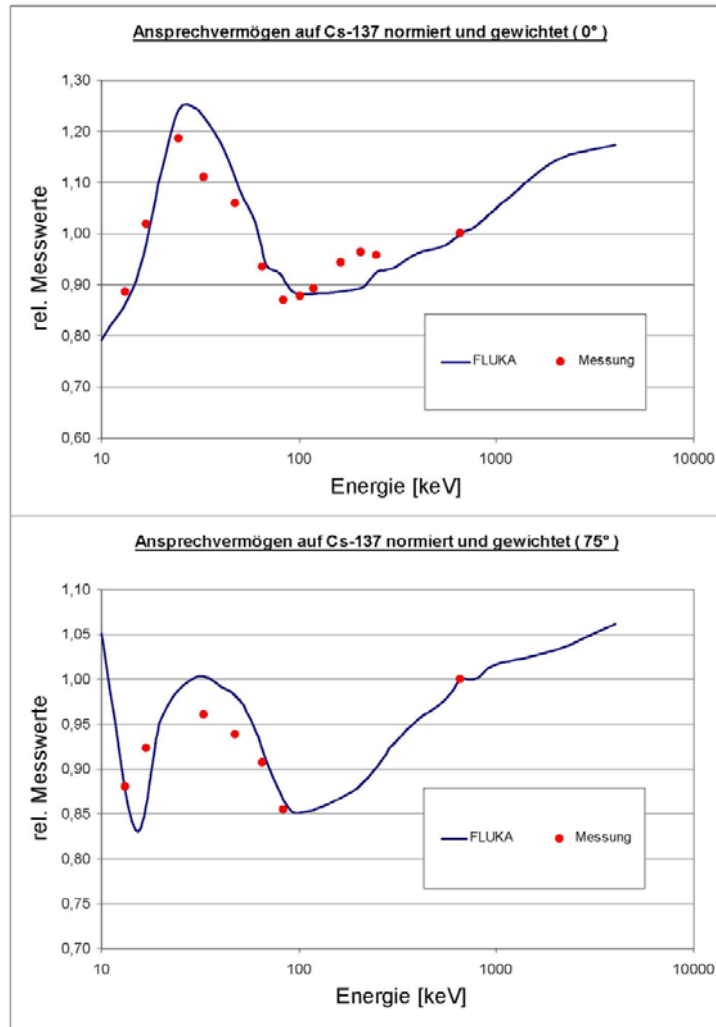


Abb. 6-8: Vergleich des mit FLUKA simulierten (blaue Kurve) und gemessenen (rote Punkte) $H^*(10)$ -Ansprechvermögens für den GSI Ortsdosimeterprototypen für die Strahleneinfallswinkel 0° (oben) und 75° (unten) bei gewichteter Filterkombination (nach [Gro07])

6.2.4 Erweiterung des Neutronendosis-Messbereichs für Kernspurdetektoren

N. Keiber, S. Nagels, F. Becker

Im Rahmen einer Projektarbeit wurden zwei neue Ätzverfahren für neutroneninduzierte Kernspuren getestet um Dosen größer 80 mSv auswerten zu können. Weiterhin wurde ein neues Zählverfahren für stark exponierte Detektoren entwickelt, sowie erste Tests am automatischen Zählgerät durchgeführt. Mit dem erweiterten Messbereich wurden auch Messungen an einem Beschleuniger durchgeführt (siehe Beitrag „Bestimmung des Neutronen-Untergrundes an einer modernen Beschleunigeranlage am Beispiel des gasgefüllten Separators TASCA an der GSI“).

Die beiden durchgeführten Ätzverfahren für neutroneninduzierte Kernspuren in Polycarbonatdetektoren unterscheiden sich nur durch ihre Ätzzeit. Die angelegte Spannung und Frequenz betragen für beide Ätzverfahren 2000 V und 100 Hz. Das erste Ätzverfahren dauert 4 Stunden und ist zur Bestimmung von Dosen zwischen 1 mSv und 120 mSv geeignet. Das zweite Ätzverfahren mit einer Ätzdauer von 3 Stunden eignet sich nur für Expositionen größer 50 mSv. Damit sich Expositionen größer 50 mSv auswerten lassen, wurde ein neues Auswerteverfahren entwickelt, welches die Spuren um das 6,3 fache vergrößert statt wie bisher um das 2,8 fache. Bei kleineren Dosen muss das Gesichtsfeldproblem beachtet werden, d. h. bei einem vergrößerten Bildaus-

schnitt werden weniger Spuren gezählt und die Statistik für die Auszählung verringert sich. Deshalb sollte hier das bisherige Routinezählverfahren angewendet werden. Die in den Untersuchungen aufgetretene maximale Nettospurendichte beträgt 4892 tr/cm², was einer Dosis von 113 mSv entspricht. Legt man für höhere Dosen eine lineare Spuren-Dosisbeziehung zu Grunde, wäre es möglich mit diesem Zählverfahren Dosen bis 300 mSv auszuwerten. Das automatische Auswertesystem ermöglicht die Auswertung bei stark exponierten Detektoren nur unter Berücksichtigung eines Korrekturfaktors, der die Spurendichte der Routinezählung annähert. Für diesen Korrekturfaktor liegen bisher noch keine Werte vor. Im Bereich kleiner 30 mSv ist die automatische Auswertung nicht sinnvoll, da dabei der Fehler sehr groß wird.

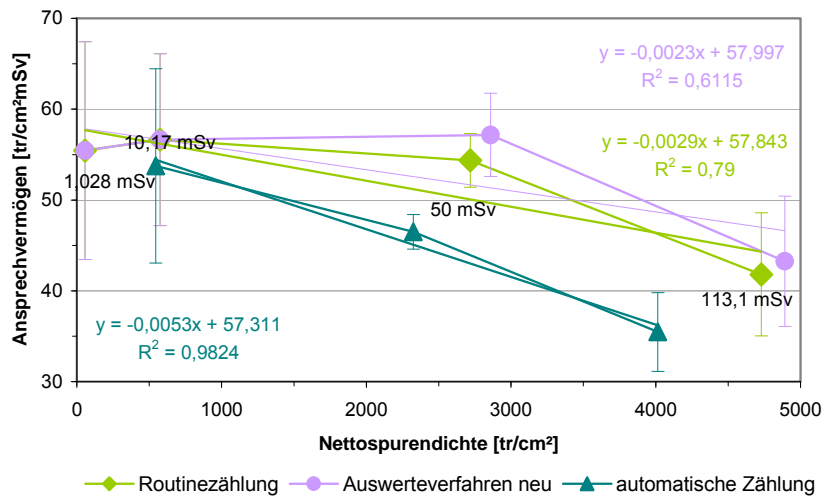


Abb. 6-9: Kalibrierkurven für eine Ätzdauer von 4 Stunden

Beispielsweise tritt bei der Nulleffektsbestimmung eine Abweichung zur manuellen Zählung von bis zu 760 % (auto.: 166 tr/cm²; manuell.: 19 tr/cm²) auf.

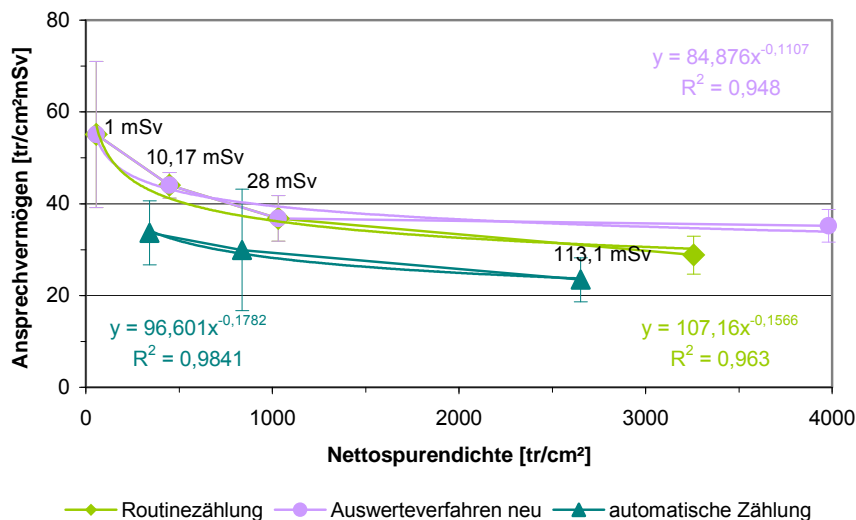


Abb. 6-10: Kalibrierkurven für eine Ätzdauer von 3 Stunden

In Abb. 6-9 und Abb. 6-10 sind die ermittelten Kalibrierkurven der beiden Ätzverfahren für die verschiedenen Zählvarianten dargestellt. Um die Kalibrierkurve des neuen Zählverfahrens noch besser zu definieren, ist es sinnvoll weitere Dosispunkte im Bereich von 80 mSv bis 150 mSv beispielsweise bei 90 mSv und 130 mSv zu bestimmen. Das automatische Auswertesystem

betreffend sollte der Formfaktor der die Spuren als solche erkennt an die Kreisform angepasst werden, so dass zukünftig auch Detektoren mit kleineren Dosen ausgewertet werden können.

6.2.5 Bestimmung des Neutronen-Untergrundes an einer modernen Beschleunigeranlage am Beispiel des gasgefüllten Separators TASCA an der GSI

Ch. E. Düllmann, Ch. Pöppe, M. Schädel (GSI Darmstadt), F. Becker, S. Nagels, N. Keiber

Bei der Konzipierung von Experimentaufbauten an Beschleunigern müssen auch dosimetrische Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Hier wird dies beispielhaft zur Bestimmung des Neutronen-Untergrundes an einem Experimentierplatz an der Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH (GSI) in Darmstadt aufgezeigt.

Langfristiges Ziel ist es u. a. mittels Simulationen eine zuverlässige Vorhersage für Neutronenfelder auch in solchen hochenergetischen Streufeldern machen zu können, die an Messplätzen von Beschleunigern auftreten können. Dadurch könnten bereits vorab verschiedene Konzeptionen für experimentelle Anordnungen überprüft und optimiert werden. Der bisherige Messaufwand würde sich dann auf wenige, von den Simulationen vorgegebene, Validationsmesspunkte reduzieren.

Die GSI ist ein Grossforschungslabor des Bundes und des Landes Hessen und ist ein Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft. Die GSI betreibt Schwerionenbeschleuniger, die Teilchenströme höchster Intensität beschleunigen. Ein zentrales Forschungsgebiet am Linearbeschleuniger UNIversal Linear Accelerator (UNILAC) ist die Synthese und Identifikation der schwersten Elemente und deren physikalische und chemische Charakterisierung. Eine internationale Kollaboration unter der Leitung der Kernchemie-Gruppe der GSI hat in den vergangenen zwei Jahren einen neuen gasgefüllter Separator, genannt TransActinide Separator and Chemistry Apparatus (TASCA) am abgeschirmten Messplatz X8 aufgebaut [1]. Das Cave wurde ebenfalls neu erstellt. Es schirmt die übrige Experimentierhalle von der bei Bestrahlungen an TASCA auftretenden Strahlung ab. Ein Foto des Separators ist in Abb. 6-11 dargestellt und ein Schema des Bestrahlungsplatzes in Abb. 6-12.

Für den Experimentbetrieb müssen viele elektronische (z. T. strahlungsempfindliche) Geräte in unmittelbarer Nähe zu bestimmten Komponenten von TASCA installiert werden. Experimente, in welchen kurzlebige Nuklide, wie dies z. B. alle Isotope der schwersten Elemente sind, zu Detektionssystemen ausserhalb des Separators transportiert werden müssen, bedingen oft den Aufbau dieser Detektionssysteme in möglichst geringem Abstand. Dadurch kann die Transportzeit möglichst kurz gehalten werden, was Zerfallsverluste minimiert. In gewissen Experimenten werden empfindliche Detektoren zum Nachweis von Radionukliden, die nur in geringsten Mengen erzeugt werden eingesetzt. Dies ist nur möglich, wenn der Neutronenuntergrund am Ort des Detektors gering ist. Innerhalb des Caves wurde deshalb eine stationäre 2,5 m hohe Abschirmwand aus 0,5 m dickem Beton aufgebaut. Zusätzlich ist eine 3,1 m hohe fahrbare kombinierte Abschirmwand (Firma Siemens, Hanau) aus Stahl (2 mm), Polyethylen (160 mm), Blei (3 mm) und Stahl (2 mm) installiert. Das Ziel der hier dargestellten Experimente war, den Neutronenuntergrund im Cave X8 unter typischen Experimentbedingungen zu charakterisieren. Die Resultate sollen helfen, geeignete Positionen für den Aufbau elektronischer Komponenten im Cave zu finden, und die Effektivität der Abschirmungswand sollte überprüft werden.

Das Jahr 2007 stand für TASCA ganz im Zeichen von Inbetriebnahmeexperimenten, in welchen zum einen die Funktionstüchtigkeit aller technischen Komponenten überprüft und demonstriert wurde und zum anderen die physikalischen Eigenschaften des Separators vermessen wurden. Während drei dieser Teststrahlzeiten wurden Neutronendetektoren im Cave X8 installiert und die integrale Neutronendosis gemessen.

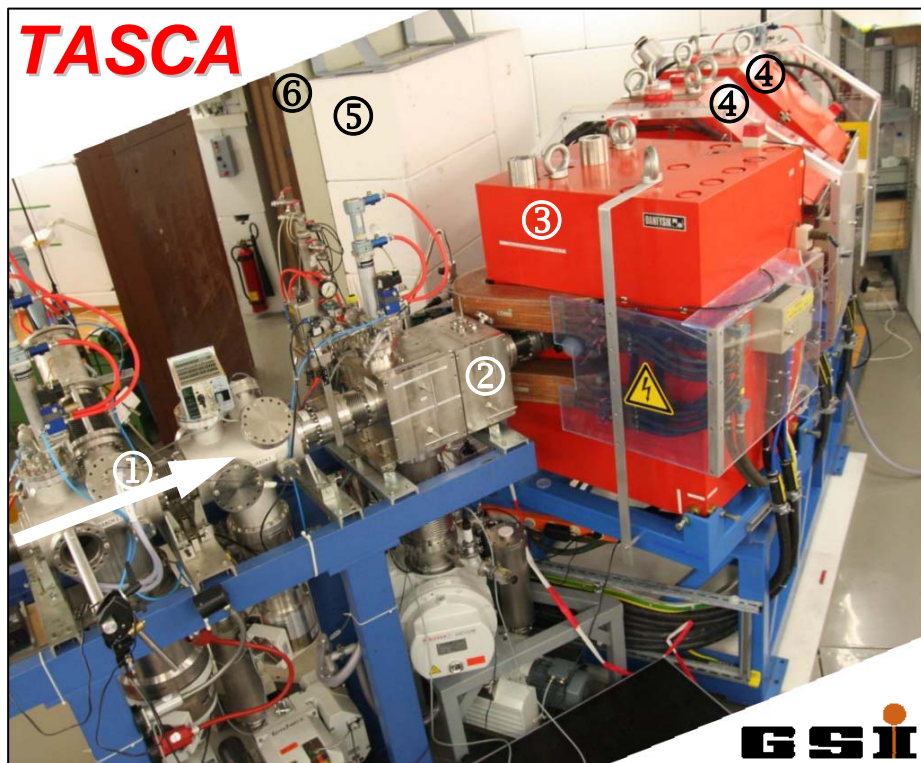


Abb. 6-11: Der gasgefüllte Separator TASCA. Der Schwerionenstrahl (1) trifft vom Beschleuniger her kommend auf ein Target (in Kammer (2)) und tritt dann in TASCA ein. Sichtbar sind der Dipol- (3) und die beiden Quadrupolmagnete (4) des Separators und die stationäre (5) sowie die fahrbare Abschirmwand (6) im Cave.

Im Rahmen dieser Arbeit interessierte die räumliche Intensitätsverteilung des Neutronenfeldes im Cave X8 unter mittleren Bestrahlungsbedingungen, wie sie im Verlaufe von Experimenten auftreten. Es war nicht das Ziel, Unterschiede des Neutronenfeldes bei 1) Bestrahlung von Targets vs. Strahloptimierungen auf einer Faradaytasse, 2) Bestrahlung unterschiedlicher Targets, oder 3) unterschiedlichen Einstellungen des Strahls (und damit unterschiedlich grosser Anteile des Strahls auf den Kollimatoren) zu untersuchen. Es ist zu erwarten, dass insbesondere der erste und der letzte Aspekt zu stark unterschiedlichen Feldern führen. Ebenfalls war es nicht Gegenstand dieser Experimente, die Neutronendosis ausserhalb des Caves zu untersuchen.

Die Kernspurdetektoren für diesen Einsatz sollten Dosen über den normalen Messbereich hinaus messen können. Dies erforderte eine Modifikation der Routineauswertungsbedingungen. Details dazu sind im Beitrag „Erweiterung des Messbereichs für Kernspurdetektoren“ beschrieben. Die eingesetzten Detektoren aus Makrofol[®] hatten eine Dicke von 500 μm bei einer Fläche von 3,5x2,5 cm^2 und werden zur Messung der Neutronendosis von Neutronenenergien (E_n) größer 2 MeV verwendet. Das Ansprechvermögen der Detektoren hängt vom Einfallswinkel ab. Die Neutronen sollten senkrecht auf die Plättchenebene einfallen, da die zur Auswertung herangezogene Kalibrierbestrahlung mit einer ^{252}Cf Quelle in den Kalibrieranlagen des Forschungszentrum Karlsruhe unter dieser Einfallrichtung erfolgte.

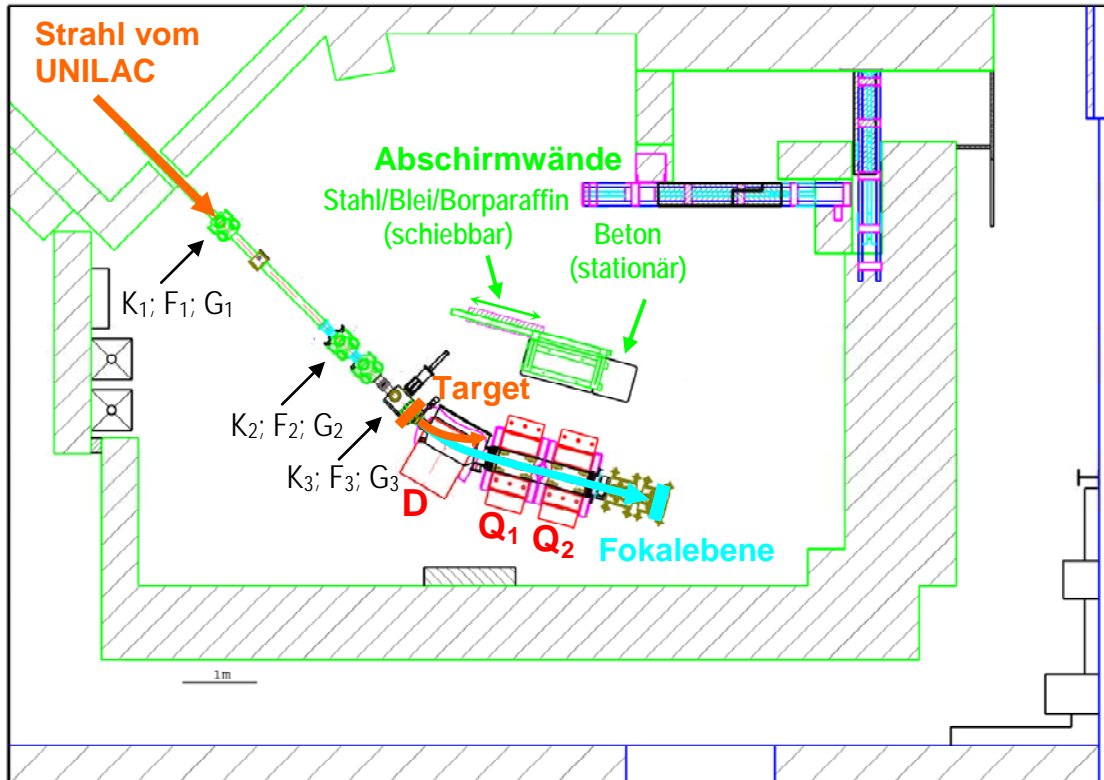


Abb. 6-12: Grundriss des Caves X8. Eingezeichnet sind der Schwerionenstrahl vom UNILAC, die Targetposition, die drei Magnete von TASCA (D=Dipol, Q=Quadrupol) und die Fokalebene des Separators sowie die Trajektorien des Schwerionenstrahls und der erwünschten Produkte in TASCA. Die schwarzen Pfeile markieren die Positionen von Strahldiagnoseelementen (K: Ta-Kollimatoren; F: Faradaytassen (aus Ta oder Cu); G: Profilgitter). Auch eingezeichnet sind die Abschirmwände innerhalb des Messplatzes X8

Die TLD-Karten (Typ 6776, Thermo Electron GmbH, Erlangen) der GSI in Moderatorokugeln aus Polyethylen (30 cm Ø) beinhalten je zwei Kristalle aus ^6LiF (sensitiv für n- und γ -Strahlung) und zwei aus ^7LiF (sensitiv für γ -Strahlung, nicht aber für n-Strahlung). Das Ansprechverhalten der PE/TLD-Einheiten ist in [Feh07] beschrieben (wobei sich [Feh07] auf Moderatorokugeln mit zusätzlicher Bleischicht bezieht; diese ist aber erst bei $E_n > 20$ MeV wirksam und bei den in den hier beschriebenen Experimenten auftretenden E_n ohne Einfluss). Während der drei Experimente wurde die folgende Anzahl Detektoren eingesetzt:

Experiment #	Anzahl KSD	Anzahl TLD
1	30	13
2	20	13
3	20	9

Tab. 6-2: Anzahl der verwendeten Detektoren in den drei Experimenten.

Jede TLD-Kugel wurde mit einem Kernspurdetektor so bestückt, dass Neutronen aus dem Bereich der Target-/Strahlfängerregion senkrecht auf dem Kernspurdetektor auftrafen. Die restlichen Kernspurdetektoren wurden an verschiedenen zusätzlichen Positionen im Cave angebracht. Eine repräsentative Messanordnung ist in Abb. 6-13 zu sehen.

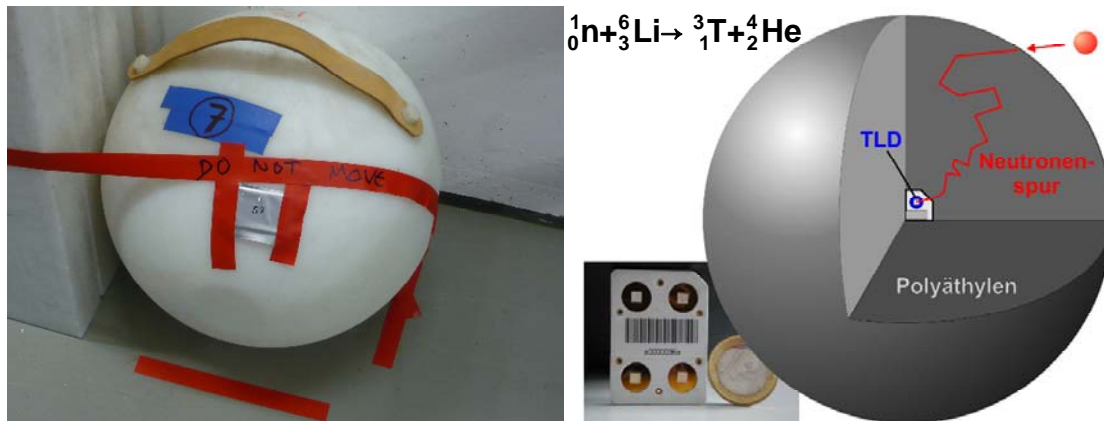


Abb. 6-13: Kombination von TLD (in der Mitte der PE-Kugel montiert) und KSD (in der Aluminiumhülle auf der Oberfläche der PE-Kugel) (links) und schematischer Aufbau der TLD/Moderatorkugel-Einheit (rechts).

Kernspurdetektoren konnten im Gegensatz zu PE-Kugeln mit den TLDs auch an Orte mit knappen Platzverhältnissen angebracht werden. Aufgrund der eingeschränkten Platzverhältnisse im Cave konnten die Detektoren nicht unbedingt optimal für eine möglichst gute Charakterisierung des Neutronenfeldes aufgebaut werden. Viele der PE-Kugeln wurden direkt auf den Boden gestellt. Um auch an beengten Stellen messen zu können, wurden zusätzlich Kernspurdetektoren an mehreren Standorten im Cave angebracht (siehe Abb. 6-17).

Für alle drei Experimente wurde die Neutronendosis [mSv], mit der die Detektoren bestrahlt wurden, bestimmt. Die Kernspurdetektoren wurden für einen Bereich von 1-100 mSv am FZK ausgewertet, einzelne des zweiten Experiments auch mit einem bis 300 mSv erweiterten Verfahren, die Detektoren des dritten Experiments wurden allesamt mit dem neuen Verfahren im Dosisbereich 1-300 mSv ausgewertet. Die TLDs wurden an der GSI ausgewertet und die Neutronendosis mit einem relativen Fehler von etwa $\pm 30\%$ bestimmt. Für die Auswertung wurden aktuelle Referenzmessungen bei der PTB Braunschweig aus dem Jahre 2007 herangezogen.

Durch die unterschiedlichen Strahldosen und die unterschiedlichen, nicht präzise definierten Materieschichten, mit welchen der Strahl in Wechselwirkung getreten ist, lassen sich keine quantitativen Aussagen über spezifische Wechselwirkungen des Strahls mit bestimmten Materialien treffen, was auch nicht das Ziel der Experimente war. Es interessierte die mittlere Belastung der unterschiedlichen Abschnitte im Cave unter typischen Versuchsbedingungen, also v. a.

- Dauerbestrahlungen mit optimierten Strahleinstellungen
- ionenoptische Kontrolle und Optimierung derselben.

Letztere gehen in der Regel mit dem Ein- und Ausfahren von Faradaytassen und Profiligittern einher. Durch ungünstige Fokussierung während der Einstellarbeiten werden oft wesentliche Anteile des Strahls auf Blenden und Kollimatoren gelenkt.

Zunächst wurden die Resultate der drei individuellen Experimente miteinander verglichen. Dabei ist festzuhalten, dass die Strahldosis im ersten Experiment wesentlich kleiner war als in den beiden letzteren, und dass die Einstellarbeiten im ersten Experiment vermutlich für einen größeren Anteil an der gesamten Neutronendosis verantwortlich sind als in den beiden letzteren. Um einen Überblick über die Reproduzierbarkeit der Resultate zu erhalten, wurde die Dosis von zwei Messpositionen, die in allen drei Experimenten sowohl mit einem TLD als auch mit einem KSD bestückt waren verglichen. Die beiden Positionen sind in der Nähe des Targets und Strahlfängers, wie in Abb. 6-14 dargestellt. Die gemessenen Neutronendosen sind in Tab. 6-2 aufgeführt und in Abb. 6-15 bzw. Abb. 6-16 dargestellt.

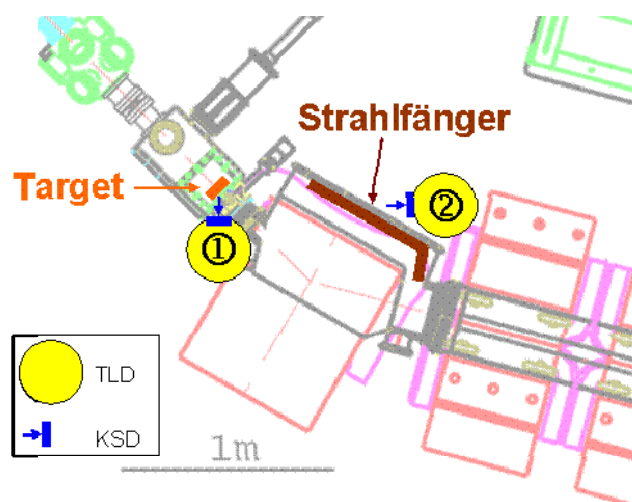


Abb. 6-14: Position der Detektoren 1 und 2. Die Zentren der TLD PE-Kugeln befanden sich auf 0.75 m Höhe (TLD 1) resp. 1.06 m Höhe (TLD 2). Die KSDs waren so an den PE-Kugeln angebracht, dass vom Target (1.70 m Höhe) stammende Neutronen senkrecht auftrafen

Exp. #	Anzahl N ⁴⁰ Ar Ionen *	KSD ①	TLD ①	KSD ②	TLD ②
	[Teilchen]	[mSv]	[mSv]	[mSv]	[mSv]
1	$\sim 5 \cdot 10^{16}$	$7,1 \pm 0,4$	$17,0 \pm 5,1$	$2,2 \pm 0,2$	$9,5 \pm 2,9$
2	$\sim 5 \cdot 10^{17}$	64 ± 5	96 ± 29	27 ± 2	57 ± 17
3	$\sim 8 \cdot 10^{17}$	120 ± 23	127 ± 38	48 ± 5	76 ± 23

* vorläufig abgeschätzt; ohne Strahleinstellarbeiten

Tab. 6-3: Gemessene Neutronendosen an Positionen 1 und 2

Eine Normierung der Neutronendosis auf die unterschiedliche Anzahl N Strahlteilchen zeigt für die vier Positionen (KSD ①, TLD ①, KSD ②, TLD ②) innerhalb der Messgenauigkeit identische Werte für alle drei Experimente. Dies belegt, dass die Resultate reproduzierbar sind, was sich mit den Resultaten der anderen Messpunkte, die in mehr als einem Experiment vermessen wurden deckt. Da N in den Experimenten 2 und 3 mindestens eine Grössenordnung grösser war als im Experiment 1, wurden im Wesentlichen die Daten der Experimente 2 und 3 verwendet.

Von allen eingesetzten kombinierten TLD/KSD-Detektorpaaren (13 in Exp. 1 und 2, neun in Exp. 3) registrierten diejenigen an Position 1 die höchsten Dosen. Für die weitere Auswertung wurden alle Werte eines Experiments auf die Werte von Position 1 normiert. Für Messpunkte, die sowohl in Experiment 2 wie auch in Experiment 3 mit Detektoren bestückt waren, wurde der Mittelwert der beiden Einzelmessungen gebildet, und auch Messpunkte, die nur in einem Experiment ausgemessen wurden, wurden mit in die kombinierte Auswertung einbezogen.

Im folgenden sind die Resultate graphisch dargestellt. Die ersten beiden Abbildungen (Abb. 6-14 und Abb. 6-15) zeigen die Dosen, die an den Positionen, an welchen sowohl KSDs als auch TLDs eingesetzt waren, gemessen wurden. Resultate von Detektoren, die in 1,0-2,4 m Höhe montiert waren (Strahlhöhe $\pm 0,7$ m) sind mit fest umrandeten Symbolen dargestellt, Resultate von Detektoren von 0-1,0 m Montagehöhe mit gestrichelt umrandeten Symbolen. Die Fläche der

Kreise entspricht der relativen Dosis. Grüne Symbole ohne Rand kennzeichnen Dosen $<1\%$, was bei vielen Messungen der Erkennungsgrenze entsprach.

Abb. 6-17 zeigt die KSD-Resultate (in mSv) von Experiment 3 der Positionen, an welchen ausschliesslich KSDs eingesetzt worden sind. Die für kommende Experimente wichtigste Aussage ist, dass die im Cave montierten Abschirmungen die Dosis aufgrund schneller Neutronen um mehr als eine Grössenordnung vermindern.

KSDs registrieren nur schnelle Neutronen ($E_n \geq 2\text{ MeV}$), wie sie bei der Wechselwirkung des Schwerionenstrahls mit Materie entstehen. Das Feld dieser Neutronen ist stark fokussiert in Vorwärtsrichtung. Mit zunehmendem Öffnungswinkel wird der Fluss dieser primären Neutronen immer kleiner. Abb. 6-15 ist in guter Übereinstimmung mit dieser Annahme, wenn man als Wechselwirkungspunkte v.a. das Target und den davor befindlichen Kollimator (K_2 in Abb. 6-12), in Betracht zieht, sowie natürlich den Strahlfänger. In Regionen in Rückwärtsrichtung vom Target ist die Belastung mit schnellen Neutronen sehr klein.

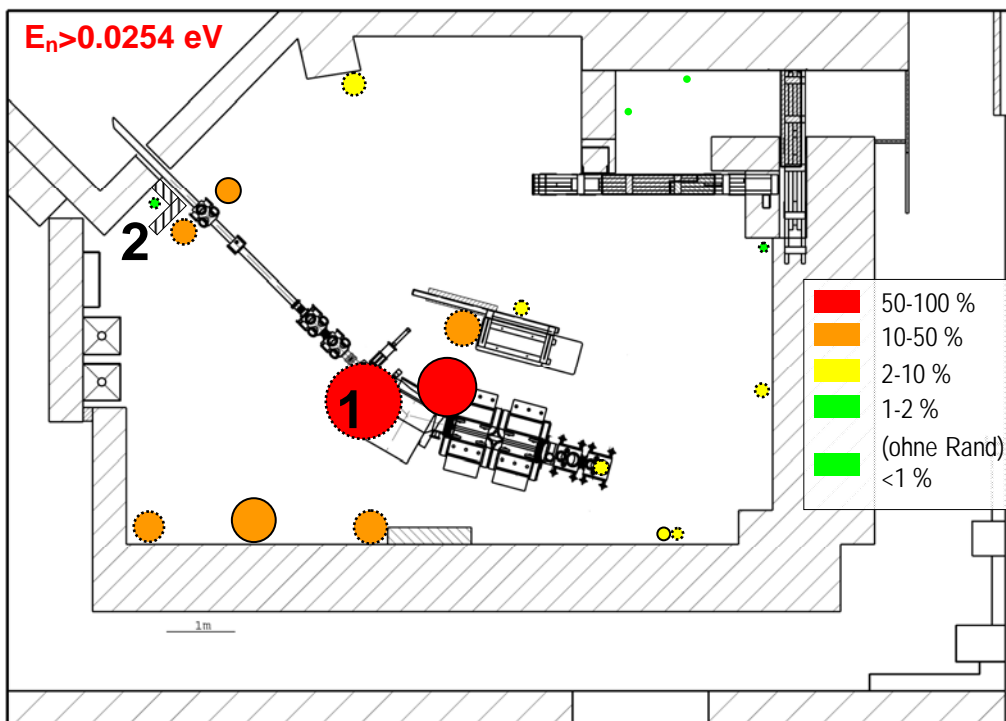


Abb. 6-15: Relative Neutronendosis (Pos. 1=100 %) gemessen mit KSD. Die Bedeutung von Pos. 2 ist im Text erwähnt.

Auch im Bereich des Eingangs in den Messplatz und entlang der Wand, in den Abbildungen am rechten Bildrand, herrscht ein kleiner Fluss an schnellen Neutronen nicht aber an thermischen Neutronen betrachtet. Die relativ grossen Messunsicherheiten machen eine quantitative Betrachtung unmöglich. Aus den Unterschieden in Figuren 5-14 und 5-15 wird aber deutlich, dass ein grösser Anteil an thermischen Neutronen in Gebieten im Cave gemessen wird, die nur von Neutronen, die mindestens ein bis zwei Streuvorgänge erlebt haben erreicht werden können. Es konnte aber nicht a priori ausgeschlossen werden, dass solche Neutronen durch die Wand, durch welche das Strahlrohr vom UNILAC in das Cave geführt ist, kommen. Deshalb wurden zwei TLD/Kernspur-Einheiten neben der Strahlrohrdurchführung durch $\sim 20\text{ cm}$ Paraffin getrennt platziert (siehe Pos. 2 in Abb. 6-15 und Abb. 6-16). Die Detektoren unmittelbar an der Wand waren durch mindestens 20 cm Paraffin und hochdichtes Polyethylen vom Strahlrohr abgeschirmt.

Auf keinem der beiden Kernspurdetektoren konnte eine Dosis oberhalb der Nachweisgrenze gemessen werden. Von beiden korrespondierenden TLDs war das nicht abgeschirmte einer deutlich höheren Dosis ausgesetzt als dasjenige, das Neutronen, die durch die Wand in das Cave gelangen, ausgesetzt gewesen wäre. Die schnellen Neutronen, die im Cave produziert werden, werden thermalisiert und bestrahlen einen relativ grossen Teil des Raums. Sie lassen sich bereits durch 20 cm Paraffin gut abschirmen.

Insgesamt konnte das Neutronenfeld im Bestrahlungsbunker X8 unter mittleren Bestrahlungsbedingungen, wie sie im Verlaufe von Experimenten auftreten, bestimmt werden. Die Neutronenbelastung von empfindlichen elektronischen Geräten und externen Hilfsdetektoren in der Nähe des Fokalebenendetektors ist gering; auch die eingesetzten Abschirmungen erfüllen ihren Zweck. Hierbei lassen sich keine quantitativen Aussagen über spezifische Wechselwirkungen des Strahls mit bestimmten Materialien treffen. Um auch solche Aussagen zu bekommen, sollen zukünftig Simulationen herangezogen werden, die dann Details über Neutronenfelder an beliebiger Stelle eines Experimentierplatzes vorhersagen könnten.

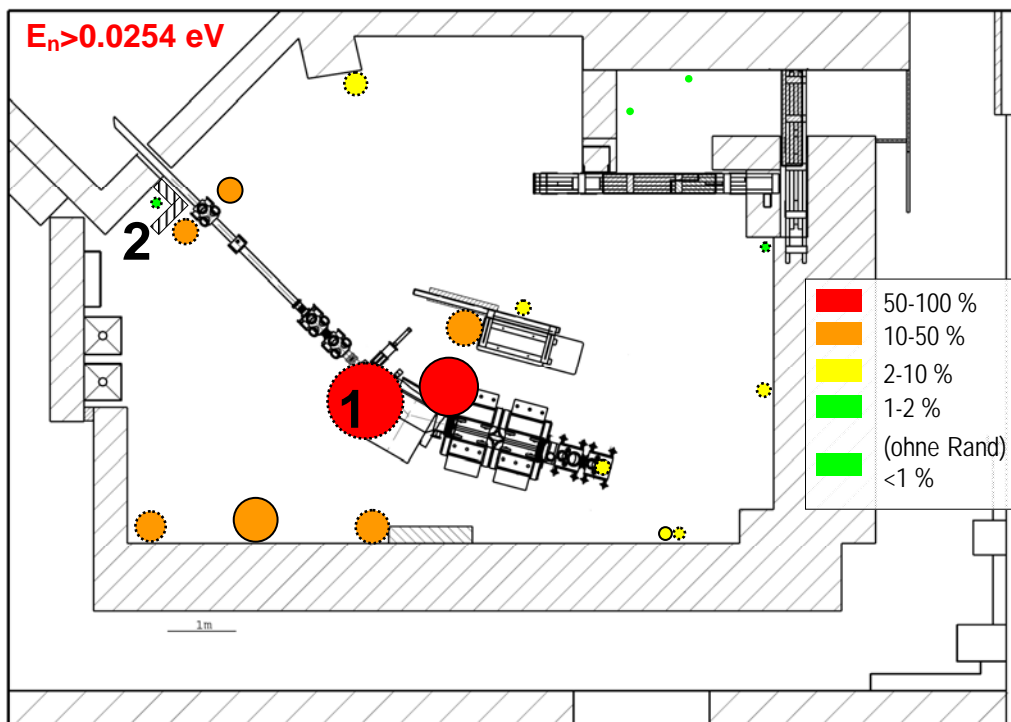


Abb. 6-16: Wie Abb. 6-15, aber für Moderatorerkugeln mit TLDs, die an denselben Positionen wie die KSDs von Abb. 6-15 angebracht waren. Die Bedeutung von Pos. 2 ist im Text erwähnt.

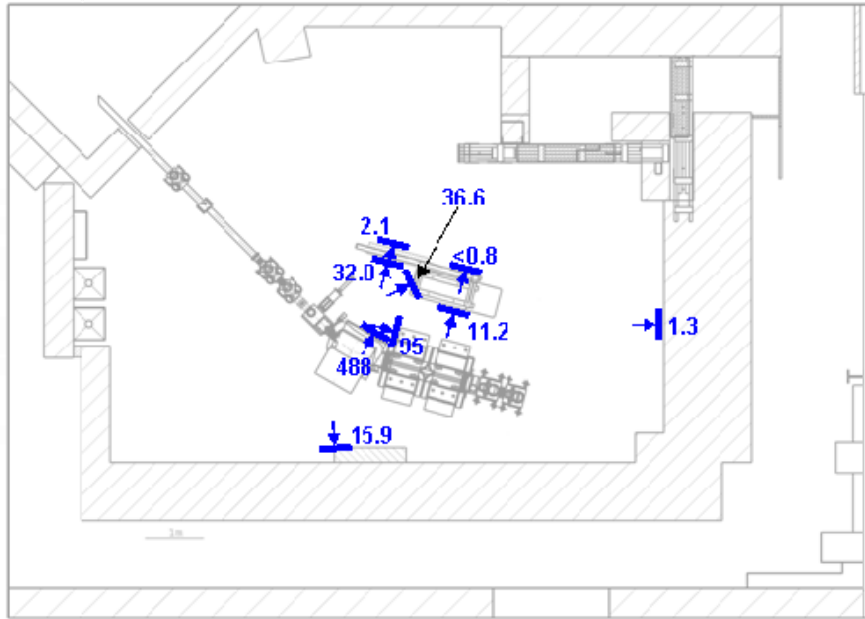


Abb. 6-17: Resultate von zusätzlich angebrachten KSDs (in mSv), die in Experiment 3 auf Strahlhöhe angebracht waren, um schnelle Neutronen zu messen.

6.2.6 Messungen von HP(007) mit einer Beta-Sonde

Ch. Blunck

In medizinischen Heilverfahren der Nuklearmedizin wird ein zunehmender Einsatz von Betanuklidien hoher Aktivität (MBq- bis GBq-Bereich) beobachtet. Aus dosimetrischer Sicht können daher bei der Durchführung der Behandlung erhebliche lokale, inhomogen verteilte Dosen der Haut auftreten. Zur Messung der Ortsdosis zur Abschätzung der auftretenden Hautdosen, insbesondere für den Bereich der Hände des medizinischen Personals in Quellennähe, gibt es noch keine aktiven $H'(0,07)$ -Messgeräte, die eine für dieses Einsatzgebiet notwendige Kompaktheit aufweisen.

Typische Einsatzgebiete wären z. B. die Radiosynoviorthese und die „Selektive Internal Radiation Therapy“, die beide eine Y-90-Applikation als Behandlungsmethode verwenden.

Ein Prototyp für ein aktive Beta-Sonde auf Basis eines Szintillationsdetektors wurde auf dosimetrische Eigenschaften hin überprüft. Die Dicke des Detektors mit einer Fläche von etwa 1 cm^2 wurde so gewählt, dass die Messgröße $H'(0,07)$ reproduziert werden kann.

Der Detektor wurde mit unterschiedlichen Nukliden (Pm-147, Kr-85 und Sr-90/Y-90) des Beta Sekundär Standard 2 (BSS2) bestrahlt. Dabei wurde jeweils die gleiche Dosis hinsichtlich der Messgröße $H'(0,07)$ verwendet.

Es wurden Spektren mit Szintillator und ohne Szintillator aufgenommen. Beim Letzteren werden die Signale nur vom Lichtleiter und ggf. von der Photokathode des Photomultipliers generiert.

Das Ergebnis der Untersuchung ist in Tab. 6-4 zusammengefasst. Es zeigt sich, dass die Messwerte, die mit Szintillator aufgenommen wurden, von der verwendeten Quelle abhängen. Erst durch die Subtraktion der Anteile ohne Szintillator kann die Messgröße $H'(0,07)$ genau genug reproduziert werden. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass der Prototyp grundsätzlich geeignet ist, die Messaufgabe zu erfüllen.

	Pm-147	Kr-85	Sr-90/Y-90
normierter Messwert mit Szintillator	0,14	0,29	1,0
normierter Messwert mit Szintillator abzüglich Messwert ohne Szintillator	0,89	1,0	1,0

Tab. 6-4: Messwerte der Beta-Sonde (Integral des Betaspektrums) für die verschiedenen Quellen des BSS2, normiert auf Sr-90/Y-90. Es wurde jeweils mit der gleichen Dosis für die Messgröße $H'(0,07)$ bestrahlt.

Auch andere nuklearmedizinische Therapien, wie die Selektive Interne Radiotherapie oder die Radioimmuntherapie, verwenden das ^{90}Y als betastrahlendes Nuklid. Bei diesen nuklearmedizinischen Therapien kann das medizinische Personal einer nicht zu vernachlässigenden Strahlenexposition ausgesetzt sein. Vor allem bei Nichtbeachtung der Strahlenschutzmaßnahmen treten hohe Dosen auf. Zur Überwachung der Teilkörperdosis werden in der Praxis Fingerringdosimeter eingesetzt, die die Exposition der Hände messen sollen. Werden diese nicht am Ort der maximalen Energiedeposition getragen kann es zu einer erheblichen Unterbestimmung der erhaltenen Dosis kommen.

Im Rahmen einer Diplomarbeit (Christoph Blunck, Universität Karlsruhe (TH)) wurde ein solches Strahlenschutzproblem am Beispiel der Radiosynoviorthese mit Hilfe des Simulationsprogramms MCNPX (Monte Carlo N-Particle eXtended) untersucht.

Dies beinhaltete die Simulation von Beta- und Photonenfeldern und deren physikalischen Wirkungen im Gewebe, wie der Energiedeposition oder der Oberflächen-Personendosis. Als Simulationswerkzeug wurde ein Simulations-Handphantom aus mathematischen Objekten entwickelt und ein Handvoxelphantom in den MCNPX Code implementiert. Diese dienten der Ermittlung von Dosisgrößen und der Dosisverteilung in der Hand.

Die Anwendbarkeit des MCNPX Codes für diesen Zweck wurde geprüft, indem Tiefendosiskurven von Elektronen im Vier-Komponenten-Gewebe der ICRU simuliert wurden und mit veröffentlichten Daten verglichen wurden. Ebenso wurde ein publizierter Wert für die Messgröße $H_p(0,07)$ erfolgreich reproduziert.

Die Handphantome wurden zur Modellierung und Simulation einer Situation bei der Radiosynoviorthese verwendet. Eine handhabungstypische, repräsentative Momentaufnahme bei der Applikation einer ^{90}Y -Lösung mit einer Spritze wurde simuliert. In einer ersten Untersuchung wurde ein Fall, bei dem keine zusätzlichen Strahlenschutzmaßnahmen getroffen wurden, untersucht. Dabei wurde eine ^{90}Y -Aktivität von 185 MBq verwendet.

zeigt die Modellierung mit dem Handphantom aus mathematischen Objekten. Die Tabelle auf der rechten Seite des Bildes zeigt die ermittelten Dosisleistungswerte an verschiedenen repräsentativen Tragestellen von Fingerringdosimetern, sowie am Ort der maximalen Strahlenexposition in 0,07 mm Gewebetiefe.

Bei Werten von bis zu 1,5 mSv/s wäre der Jahresgrenzwert der Hautdosis von 500 mSv für beruflich strahlenexponiertes Personal der Kategorie A schon nach sechs Minuten überschritten.

Zudem wurde ein hoher Dosisgradient im Bereich der Hände festgestellt. Die Dosisleistung an repräsentativen Tragestellen von Dosimetern, wie dem Zeige- und Ringfingergrundglied, lag im simulierten Applikationsmoment nur bei ein bis zwei Prozent der Dosisleistung am Ort der maximalen Exposition.

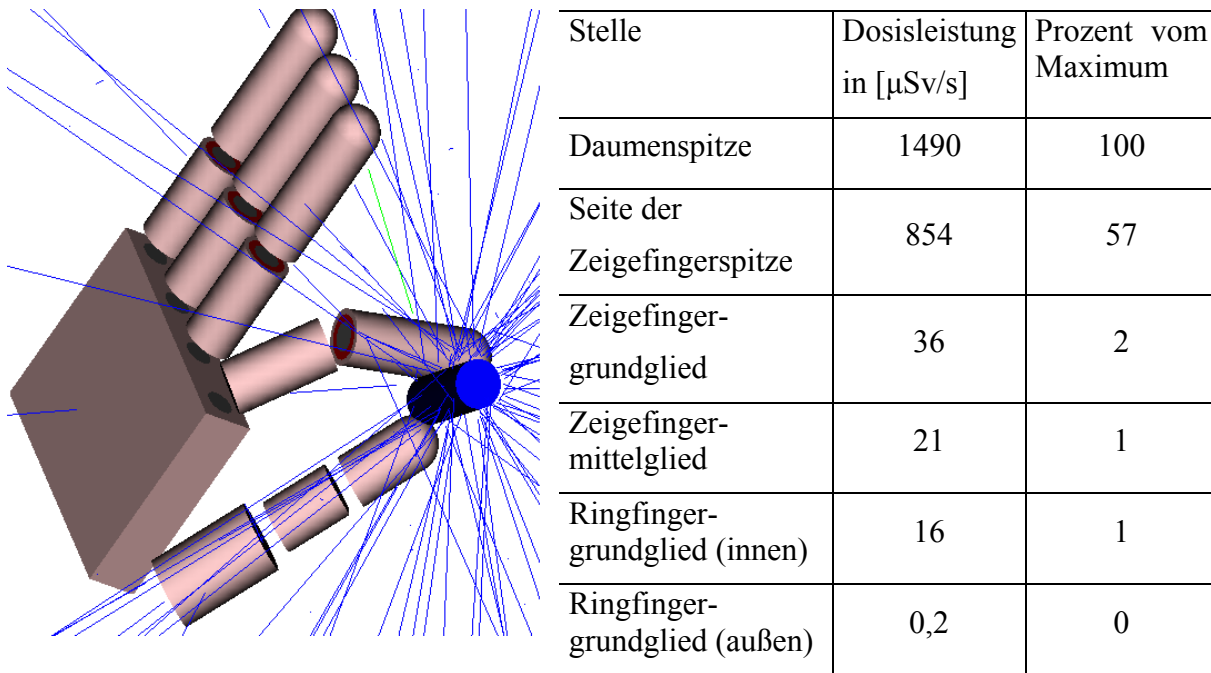


Abb. 6-18: Modellierung des Applikationsmomentes mit einem eine Spritze repräsentierenden Zylinder als ^{90}Y -Strahlungsquelle (links) und die ermittelten Dosisleistungswerte an verschiedenen repräsentativen Stellen an der Hand (rechts)

Einen Überblick der Dosisleistungsverteilung in der simulierten Applikationssituation für das Handvoxelphantom liefert die Abb. 6-19. Das Handvoxelphantom ist vom Modell her realitätsnäher, besitzt aber eine von der Voxelgröße abhängige Struktur. Außerdem ist diese komplexere Art der Modellierung rechenintensiver. Abb. 6-19 ist das Ergebnis einer speziellen Simulation, in der die Energie, die in einem Volumenelement der Hand deponiert wurde, aufgezeichnet wird. Auch hier zeigt sich ein hoher Dosisgradient mit zunehmender Entfernung von der Strahlenquelle.

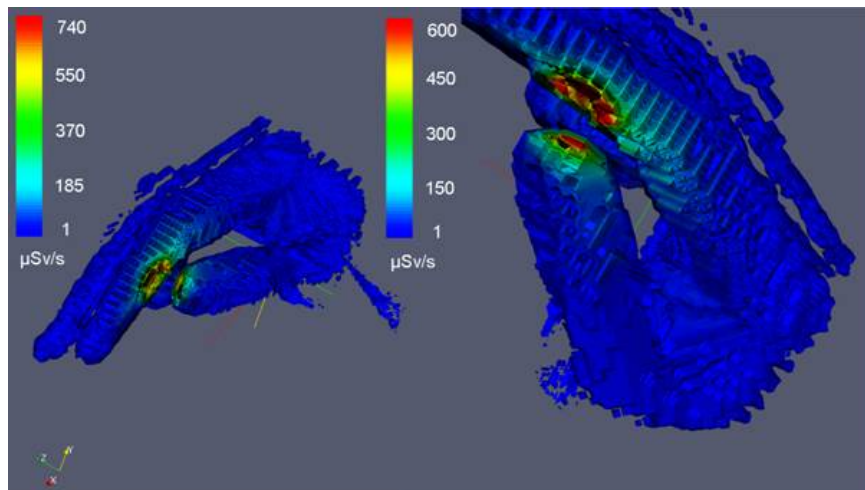


Abb. 6-19: Dosisleistungsverteilung im Voxelphantom. Die unterschiedlichen Farben repräsentieren unterschiedliche Dosisleistungswerte. Die Strahlenquelle, die sich zwischen Daumen und Zeigefinger befindet (analog zu Abb. 6-19 links), wurde zur besseren Erkennbarkeit der Dosisleistungsverteilung in der Hand aus dem Bild retuschiert

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, welcher großer Korrekturfaktor bei Nichtbeachtung der Strahlenschutzmaßnahmen zwischen typischen Trageorten von Dosimetern und dem Ort der maximalen Exposition auftreten kann. Außerdem zeigen die Ergebnisse, wie entscheidend die gemessene Dosis von der Position des Detektors und dessen Ausrichtung zum Strahlenfeld abhängt. Dies verdeutlicht nochmals die Bedeutung von Simulationen im Strahlenschutz, um Strahlenschutzmaßnahmen zu optimieren.

6.2.7 Untersuchung zum Betadosisanteil im Hinblick auf die biologische Wirksamkeit der Weltraumstrahlung bei der BIOPAN Weltraummission

F. Becker, R. Drescher (TU Darmstadt)

Im Projekt Yeast/BIOPAN6 soll bei der FOTON M3 Mission die biologische Wirksamkeit der Weltraumstrahlung auf das Überleben von strahlenexponierten eukaryotischen Zellen erforscht werden. Als Modellsysteme werden diverse Mutanten und ein Wildtypstamm der Hefe *S. cerevisiae* verwendet. Durch die vergleichende Untersuchung der DNA Reparatur auf verschiedenen genetischen Hintergründen soll der Einfluss unterschiedlicher Komponenten der Weltraumstrahlung (unterschiedliche Abschirmungen) und die dadurch bedingte Qualität der auftretenden DNA Doppelstrangbrüche unter Berücksichtigung der einzelnen Reparaturwege untersucht werden.

Die zu erzielenden Ergebnisse erlauben eine Einschätzung der biologischen Wirkung unterschiedlicher Komponenten der Weltraumstrahlung auf eukaryotische Zellsysteme. Es wird eine profundere Risikoabschätzung für Langzeitaufenthalte und Außeneinsätze im Weltraum ermöglicht.

Die Weltraumstrahlung setzt sich aus unterschiedlichen geladenen Teilchen zusammen, hauptsächlich aus Elektronen, Protonen und vereinzelt auch schwereren Ionen. Sie werden vom Magnetfeld der Erde eingefangen und führen zur Bildung des sogenannten Van Allan Gürtels. Aufgrund einer asymmetrischen Ausbildung des Gürtels können diese geladenen Partikel auch in größerer Erdnähe detektiert werden. Wichtig für die Weltraumfahrt ist die sogenannte Südatlantikanomalie, die regelmäßig von Satelliten und bemannten Raumschiffen durchquert wird. Aus diesem Grund ist eine genaue Analyse dieser komplexen Strahlungsquelle notwendig. [Rei2006]. Welche Dosen auf die Oberfläche eines Objekts im All einwirken, lässt sich letztendlich nur durch die Extrapolation der Messungen über Volumendetektoren ermitteln [Aka89; Rei90; Rei92; Rei98; Rei00]. Auf der Erde lassen sich diese Bedingungen nur unzureichend simulieren, was den Einsatz von theoretischen Modellen erfordert [Gok99; Gus95; Mul98; Pan96; Vet91]. Diese theoretischen Modelle werden durch Flugdaten verfeinert. Daraus lässt sich ableiten, dass die in dieser Flughöhe einwirkende Strahlung hauptsächlich aus niederenergetischen Elektronen, Protonen und schweren Ionen besteht.

Eine Ursache der in vorherigen Versuchen ermittelten hohen biologischen Wirksamkeit der einwirkenden Strahlung liegt in der Wirkung der weichen, niederenergetischen Elektronen, die einen großen Anteil an der Weltraumstrahlung haben. Ebenso ist Strahlung, die an Grenzflächen zwischen Materialien mit stark unterschiedlicher Kernladung durch Bestrahlung entsteht und höchstwahrscheinlich einen beträchtlichen Anteil weicher Elektronen aufweist, biologisch besonders wirkungsvoll.

Um die biologische Wirksamkeit untersuchen zu können, ist eine genaue, verlässliche Dosimetrie unerlässlich.

Aus diesem Grund wurden zwei Detektionssysteme eingesetzt, die vor allem auch in der Lage sind, niederenergetische Elektronen zu detektieren.

HD810 GAFchromic Filme wurden als die am besten geeigneten radiochromischen Filme identifiziert. Diese Filme werden vorzugsweise in der Radiotherapie zur Dosimetrie eingesetzt. Es handelt sich dabei um farblose Filme, die sich durch Strahlungsexposition zunehmend blau ein-

färben. Die Lichttransmission kann dann durch einen Scanner oder einen Densitometer anschließend erfasst und ausgewertet werden. Der HD810 GAFchromic Film hat eine schützende Polyeserschicht von 0.75 μm Dicke unter der eine 6.5 μm aktive Schicht zur Messung der Strahlenexposition liegt Abb. 6-20. Aus diesem Grund können auch sehr niedrig energetische Partikel auf die sensitive Schicht vordringen und ein Signal generieren. Die GAFchromic Filme wurden in einem Stapel angeordnet Abb. 6-21.

In Zusammenarbeit mit der Abteilung Kompetenzerhalt Strahlenschutz – externe Dosimetrie wurden Thermolumineszenz(TL)-Detektoren (TLDs) mit einer 30 μm dünnen TL-aktiven LiF:Mg,P,Cu-Schicht eingesetzt Abb. 6-20. Diese TLDs sind ebenfalls zur Messung niederenergetischer Strahlung konzipiert. Niederenergetische Teilchen der Energie E, die in Materie oder Gewebe eindringen, können sich durch ihre Reichweite und ihren Energieverlust E und damit durch ihre biologische Wirksamkeit unterscheiden. Ein TLD-Stapel wurde so konzipiert, dass das oberste TLD mit seiner aktiven Schicht direkt, also mit möglichst wenig Abschirmung, die vom Weltraum einfallende Strahlung detektieren kann. Das darunterliegende Detektorpaar (TLD-Paar) ist so angeordnet, dass die Strahlung durch zwei TLDs hindurch muss, ehe die aktive Schicht getroffen wird. So kann der TLD-Stapel als ΔE - ΔE - oder ΔE -E-Teleskop, je nach Reichweite der Teilchen, fungieren. Jeweils drei Detektoren wurden übereinander als „Teleskop“ (siehe Abb. 6-21, rechts) in den Versuchsaufbau (siehe Abb. 6-22 und Abb. 6-23) eingesetzt. Dadurch können die von Reichweiten abhängigen unterschiedlichen Energiedepositionen ΔE oder E analysiert werden und zusätzliche Informationen über die einfallenden Teilchen gewonnen werden. Für das TLD-Paar wird durch die Abschirmung z. B. der niederenergetischen Elektronen eine geringere Dosis erwartet und bei sehr niedrig energetischer Strahlung sollte dort nur der Untergrund gemessen werden. Daher ist das TLD-Paar so gruppiert, dass es ΔE oder E quasi zweimal misst, um so eine genauere Statistik zu bekommen.

Die Teleskope wurden zusammen mit dem Film-Stapel und den Hefekulturen in die Probenplatten für die BIOPAN eingesetzt (Abb. 6-22 und Abb. 6-23). Die Abschirmung der Probenplatten zum Weltraum betrug 10.8 mg/cm^2 (aluminisierte Kapton-Imid Abschirmung und aluminisierte Mylarfolie). Zusätzlich wurden einige Detektoren unter 100 μm Aluminium (Gesamtshielding Al+Kapton Imid: 37.8 mg/cm^2) exponiert (siehe Abb. 6-22 rechts). Der Experimentalaufbau besteht aus 2 Lagen. Die untere Lage ist zusätzlich durch 2 mm Aluminium und einer weiteren Mylarfolie abgeschirmt, was einem Gesamtshielding von 554 mg/cm^2 entspricht.

Der beschriebene Experimentalaufbau wurde in die Biopan eingebaut, die an der Außenseite der FOTON M3 Kapsel befestigt wurde (Abb. 6-22). Im Orbit wurde die Biopan geöffnet und der Experimentalaufbau wurde 10 Tage der Weltraumstrahlung ausgesetzt. Die Kapsel umkreiste in diesem Zeitraum 160mal die Erde in einer durchschnittlichen Orbithöhe von 274 km. In diesem Zeitraum wurde eine durchschnittliche Dosis von 1,21 Sv +/- 0,08 Sv in der obersten TLD-Lage ermittelt. Die Dosen sind bezüglich Cs-137 kalibriert. Die Exposition unter 100 μm Aluminium führte zu einer Reduktion der gemessenen Dosis auf 146 mSv +/- 5 mSv. In den darunter gelagerten TLDs konnte nur eine Dosis von 10 mSv ermittelt werden, die zunächst als Untergrundstrahlung angesehen wird, die möglicherweise durch höher energetische Strahlung verursacht wird.

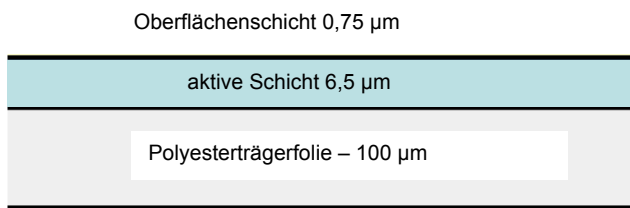
Mit den GAFchromic Filmen wurde in der obersten Schicht eine Dosis von 6.4 Gy +/-1.9 Gy (Kalibrierung mit 90 kV Röntgenstrahlung) ermittelt. Diese Dosis bewegt sich nur sehr knapp über dem unteren Detektionslimit von 5 Gy. In den unteren Filmschichten wurde quasi nur Untergrund gemessen. Auch hier wird die Annahme untermauert, dass die Strahlung sich überwiegend aus niederenergetischen Komponenten zusammensetzt.

Unter der Annahme, dass die gemessene Dosis durch niederenergetische Elektronen hervorgerufen wird, lassen sich durch die verschiedenen Messwerte der TLDs im Teleskop bei verschiedenen Abschirmungen Rückschlüsse über das Elektronenfeld ziehen. In einer ersten Analyse wur-

den die TLD-Teleskope in der äußeren Schicht betrachtet. Dabei wurde in der äußeren Schicht der Messwert des unteren TLD-Paares als Untergrund angesehen und die Messwerte der obersten TLDs, welche nur durch eine Kapton- und Mylarfolie vom Weltraum abgeschirmt sind, analysiert. Unter Berücksichtigung der Reichweite von Elektronen im Teleskop kann dann die Aussage getroffen werden, dass bei den oben genannten Annahmen Elektronen mit Energien unterhalb von etwa 800 keV auf die obersten TLDs treffen.

Weitere Untersuchungen zur Strahlenqualität, ob die Weltraumstrahlung sich überwiegend aus niederenergetische Elektronen zusammensetzt, die wiederum Sekundärelektronen und -photonen durch Wechselwirkungen mit dem Biopanmaterialien freisetzen können, sind in Arbeit.

GAFchromic HD810



TLD-700

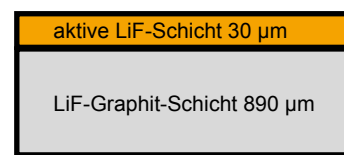


Abb. 6-20: Schematische Darstellung der verwendeten Dosimeter: Film (links) und TLD (rechts)

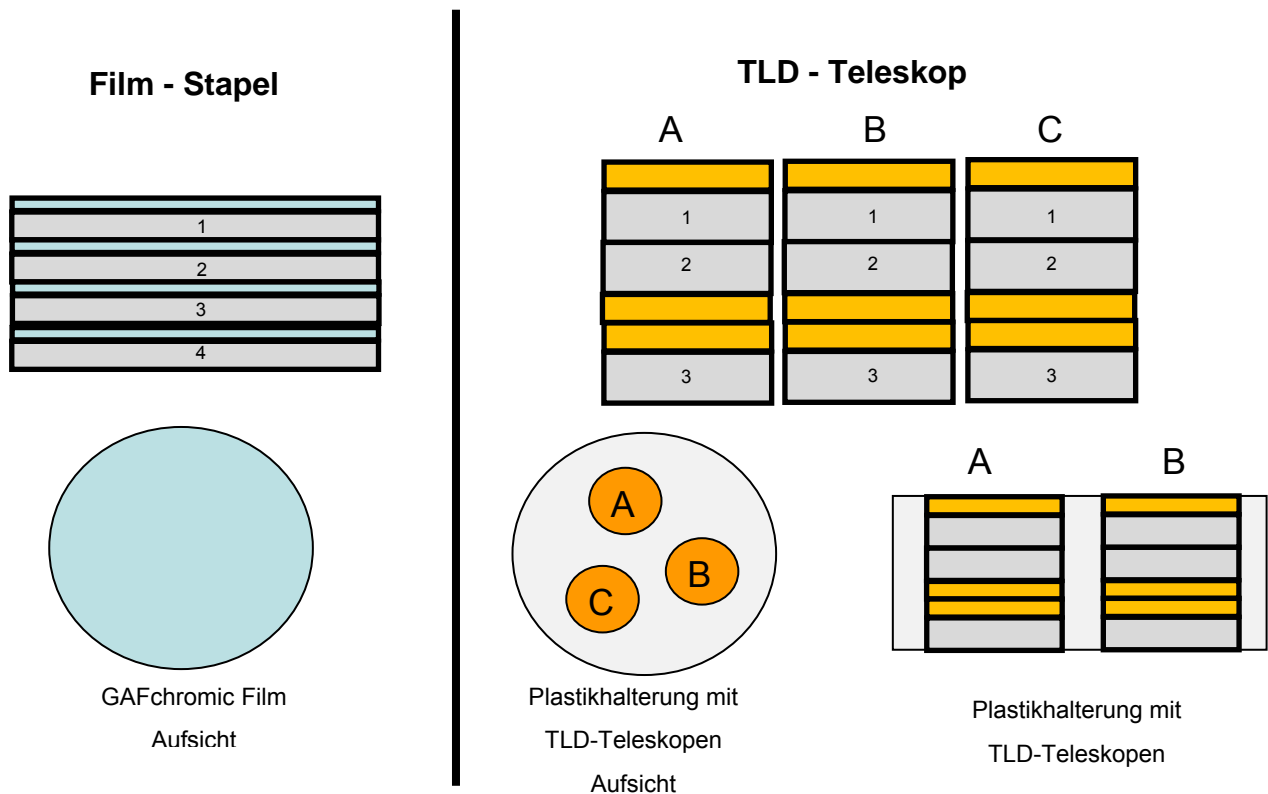


Abb. 6-21: Schematische Darstellung der eingesetzten Dosimeter: ein Stapel aus vier Filmen (links) und TLD-Teleskope bestehend aus drei TLDs (rechts)

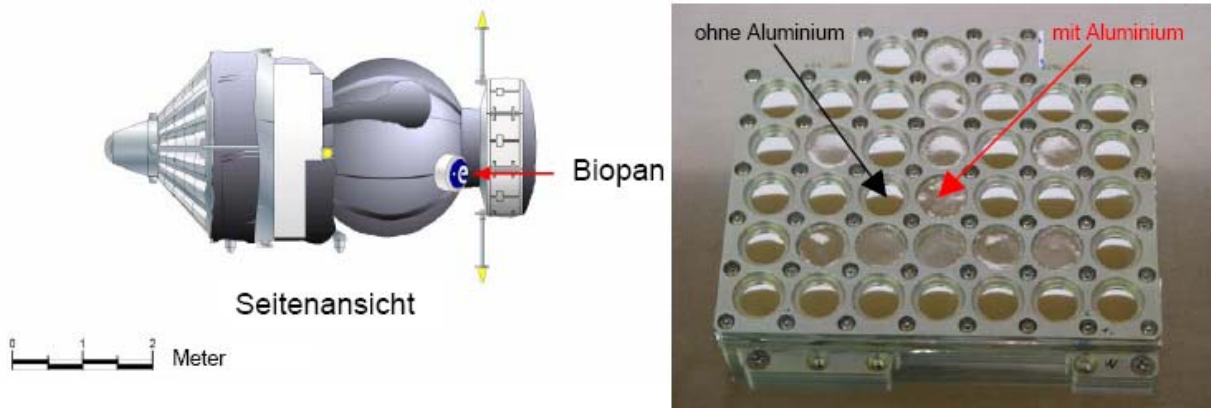


Abb. 6-22: Die Forschungskapsel FOTON M3 mit Biopan (links, Quelle ESA) und Probenplatte des Hefeexperimentaufbaus (rechts). In der Probenplatte gibt es Kammern mit und ohne Aluminiumabdeckung

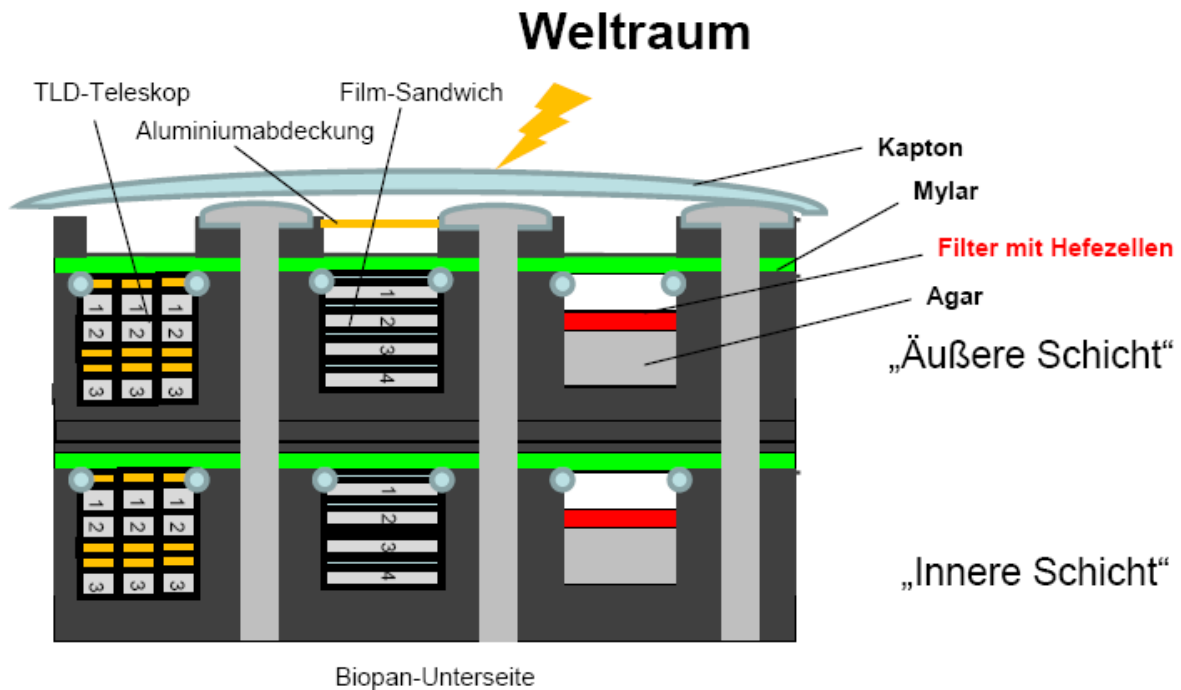


Abb. 6-23: Schematische Darstellung von drei verschiedenen befüllten Kammern der Probenplatte

6.3 Anwendung von Routineverfahren zur Bestimmung der äußeren Strahlenexposition

6.3.1 TLD Verfahren

6.3.1.1 Umgebungsdosimetrie und spezielle Anwendungen

T. Teclé, S. Nagels

Bei HS-KES, Gruppe externe Dosimetrie werden für die Umgebungsdosimetrie zwei Verfahren angeboten. Zum Nachweis der Photonenumgebungsäquivalentdosis werden Thermolumineszenzdosimeter bestehend aus TLD-700-Detektoren in einer Plexiglas-Kugel mit einem Durchmesser von 37 mm angeboten. Im Jahr 2007 wurden von diesen Dosimetern 356 Stück ausgegeben.

Die Umstellung für die Photonenumgebungsdosimetrie auf die H*(10)-Gamma-Kugel ist für nahezu alle Kunden abgeschlossen, nur noch ein Kunde hat im Jahr 2007 120 H_x-Kapseln erhalten.

Zum Nachweis der Neutronenäquivalentdosis werden passive Neutronen-Äquivalentdosismesser, bestehend aus einer Polyäthylenkugel von 30 cm Durchmesser mit einem thermischen Neutronendetektor im Zentrum angeboten. Als Detektoren werden TLD-600 / TLD-700 - Detektorpärchen verwendet. Dieses Detektorsystem wurde 20 mal im Jahr 2007 ausgegeben.

Im Jahr 2007 wurden weiterhin 690 Thermolumineszenzdetektoren für spezielle Anwendungen, z. B. Messungen in Phantomen in der Medizin oder Hochdosismessungen an Beschleunigeranlagen ausgegeben.

6.3.1.2 Bereitstellung einer IMIS Schnittstelle für die LUBW

S. Nagels

Die Umweltradioaktivität wird in der Bundesrepublik Deutschland von verschiedenen Behörden bereits seit 1955 großräumig gemessen. Der Reaktorunfall in Tschernobyl 1986 zeigte jedoch, dass es keine abgestimmten Messstrategien gab, der Datenaustausch zwischen den Behörden schwierig war und die Messergebnisse unterschiedlich bewertet wurden. Die Folge: Politiker des Bundes und der Länder äußerten sich widersprüchlich zu den Auswirkungen des Reaktorunfalls und zu erforderlichen Maßnahmen. Dies verunsicherte die Bevölkerung und löste Verwirrungen aus. Um dies zu beseitigen, wurde noch im selben Jahr das Strahlenschutz-Vorsorge-Gesetz (StrVG) verabschiedet. Wesentlicher Inhalt des Gesetzes ist es, die Umweltüberwachung nach einheitlichen Kriterien zu regeln und auszubauen sowie alle Aktivitäten in dem einheitlichen Integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) zur Überwachung der Umweltradioaktivität zusammenzuführen. Nach über 10 Jahren kontinuierlichen Betriebs hat das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) im April 2005 IMIS auf einen neuen, zeitgemäßen Stand der Computertechnik überführt [BFS05].

Die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW) lässt seit Oktober 2007 die Überwachung der Gamma-Ortsdosis mit H*(10)-Gamma-Kugeln des Forschungszentrum Karlsruhe durchführen. Im Gesamten hat die LUBW für den Messzeitraum 2008 ca. 200 Gamma-Kugeln und einige TLD-Karten zur Messung in Neutronenmoderatkugeln bestellt. Bisher hat die LUBW ihre Ergebnisse der Umgebungsüberwachung von Hand für jeden einzelnen Messort in die IMIS Datenbank eingetragen. Um dies zu vereinfachen wurde gemeinsam mit HS-KES nach einer Lösung gesucht. IMIS stellt zur Aufnahme von Messdatensätzen das sogenannte Laboraustauschformat (LAF) zur Verfügung. Ergebnis war, dass HS-KES in Zukunft die Messergebnisse für jeden Messort in Form eines Importdatensatz im LAF Format an die LUBW liefern kann. Dafür werden einige zusätzliche Daten von der LUBW benötigt. Im folgenden ist ein Beispiel für einen Importdatensatz angegeben.

%PROBE%	
UEBERTRAGUNGSFORMAT	"7"
VERSION	"0083"
DATENBASIS_S	04
NETZKENNUNG	"08"
ERZEUGER	"AB"
MESSSTELLE	"08010"
HAUPTPROBENNUMMER	"TEST_0004"
MESSPROGRAMM_S	"4"
MESSPROGRAMM_LAND	"204"
PROBENAHEINSTITUTION	"121"
PROBENART	"S"
ZEITBASIS_S	2
PROBENAHEME_DATUM_UHRZEIT_A	20061231 2200

PROBENAHMEDATUM_UHRZEIT_E	20070130 2200
UMWELTBEREICH_C	"Gamma-Ortsdosis"
DESKRIPTOREN	"1201 02 "
REI_PROGRAMMPUNKT	"A2:1.1b"
%URSPRUNGSORT%	
U_ORTS_ZUSATZCODE	"U08PO10"
U_ORTS_ZUSATZTEXT	"O10"
PROBENKOMMENTAR	"08010" 20070507 1223
"Dies ist der Kommentar zur Probe"	
%MESSUNG%	
NEBENPROBENUMMER	"0001"
MESSMETHODE_C	"Gamma-OD"
BEARBEITUNGSSTATUS	"1000"
MESS_DATUM_UHRZEIT	20050130 2300
MESSZEIT_SEKUNDEN	00000060
PEP_FLAG	0
ERFASSUNG_ABGESCHLOSSEN	1
MESSWERT	Gamma-OD-Brutto 10.000E+00 mSv 30.00
%ENDE%	

HS-KES musste, um die Ergebnisberichte in diesem Format an die LUBW liefern zu können, ein Makro für das bisherige Auswerteprogramm schreiben. Dieses Format kann in IMIS direkt übernommen werden und die umständliche Einzelmessungseingabe von Hand kann in Zukunft entfallen.

6.3.1.3 Nichtamtliche Personen- und Teilkörperdosimetrie

M. Schaller, S. Nagels

Für die nichtamtliche Teilkörperdosimetrie der lokalen Hautdosis der Hände bietet HS-KES drei verschiedene Typen von Fingerringdosimeter aus Edelstahl mit Thermolumineszenzdetektoren an: für Röntgen- und Gammastrahlungsfelder den Typ PHOTONEN, für Mischstrahlungsfelder mit Betastrahlung die Typen BETA-200 und BETA-50. Die Zahl 200 und 50 bezieht sich dabei auf die jeweilige untere Grenze der mittleren Betaenergie, die mit dem Fingerringdosimeter noch nachgewiesen werden kann.

Alle drei Fingerringdosimetertypen sind bauartgleich mit den Fingerringdosimetern, die im August 2001 die Bauartzulassung für den Photonennachweis in der neuen Messgröße Oberflächen-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ unter Federführung der ehemaligen Karlsruher Messstelle erhielten. Im Jahre 2003 wurde der Photonenenergiebereich des Typs BETA-50 bis zu 7 keV erweitert. Im Jahr 2007 hat HS-KES neben dem Forschungszentrum auch externe Kunden mit 612 Beta-Ringdosimetern beliefert.

HS-KES hat in diesem Jahr freiwillig an der Vergleichsbestrahlung der PTB für $H_p(0,07)$ -Dosimeter erfolgreich teilgenommen, die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zu sehen.

Als weiteres nichtamtliches Dosimeter wird ein am Forschungszentrum Karlsruhe entwickeltes universelles Albedoneutronendosimeter eingesetzt. Das Neutronendosimeter mit TLD-600 ($^6\text{LiF:Mg,Ti}$)- und TLD-700 ($^7\text{LiF:Mg,Ti}$)-Thermolumineszenzdetektoren dient zur Personenüberwachung in Neutronen-Gamma-Mischstrahlungsfeldern. Für spezielle Überwachungsaufgaben können die Albedodosimeter zusätzlich mit Kernspurätzdetektoren zum getrennten Nachweis schneller Neutronen eingesetzt werden. 2007 wurden von HS-KES Albedodosimeter nur innerhalb des Zentrums ausgegeben.

Nr.	Quelle	H(DST) mSv	H(PTB) mSv	Winkel ° Grad	H(DST)/ H(PTB)
B0645	Sr-90/ B110	130	60,0 60,1	0	1,08
B0646	B110	7,03	7,03	60	1,00
B0648	Sr-90	1,21	1,00	0	1,21
B0650	Kr-85/ B110	35,4	30,0 10,0	0	0,88
B0651	Kr-85	162	200	0	0,74
B0652	Kr-85/ A300	51,3	20,0 40,0	45	0,85
B0653	Sr-90	15,2	15,0	60	1,01
B0654	B110	139	150	0	0,92
B0655	A300	4,64	5,00	45	5,00
B0656	Kr-85	243	300	0	0,81
B0657	Kr-85	31,1	37,6	0	0,83
B0658	Kr-85	1,81	3,00	60	0,60
B0660	Pm-147/ C60	34,7	40 30	34,7	0,50
B0661	C60	3,14	3,00	0	1,05
B0662	B110	35,1	35,1	0	1,00

H(DST) und H(PTB): $H_p(0,07)$, Mittelwert beträgt 0,894

Tab. 6-24: Ergebnisse für Beta-200 Fingerringdosimeter bei der PTB-Vergleichsbestrahlung 2007

6.4 Dosimetrie nach Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper

B. Brusted

Bei Dosisabschätzungen nach der Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper (Inkorporation) muss die Verteilung der Quelle und ihres Strahlenfeldes im Körper berücksichtigt werden. Zunächst muss das aufgenommene Radionuklid entweder direkt im Körper, oder nach seiner Ausscheidung aus dem Körper mit möglichst guten Nachweisgrenzen bestimmt werden. Das In-vivo Messlabor der HS betreibt dazu einen Ganzkörperzähler und mehrere Teilkörperzähler (vgl. Kap. 5.5.3). Alternativ zur Direktmessung im Körper können Urin- und Stuhlproben analysiert werden (z. B. in der toxikologischen Abteilung der Medizin im Forschungszentrum). Zur Bestimmung der Verteilung der aufgenommenen Nuklide im Körper müssen geeignete biokinetische Modelle (vgl. Kap. 5.4.2) eingesetzt werden. Mit Hilfe dieser Modell kann aus den Messwerten die insgesamt aufgenommene Menge (Zufuhr, „Intake“) bestimmt werden. Aus den Zerfallseigenschaften des Nuklids und seiner Verteilung (dosimetrisches Modell) kann die aus der Zufuhr resultierende Dosis bestimmt werden (vgl. Abb. 6-25).

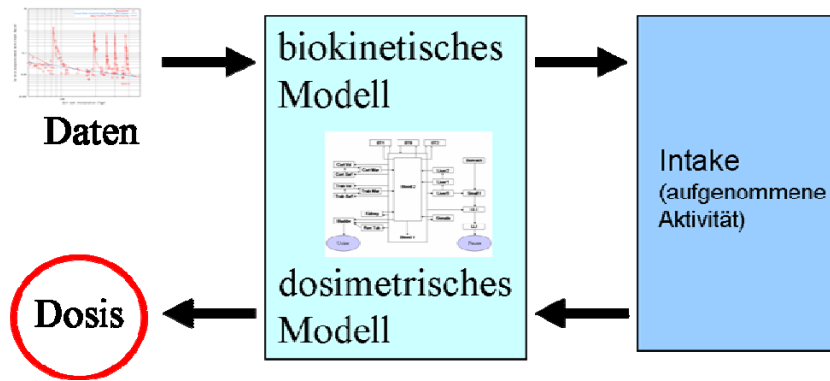


Abb. 6-25: Ablauf der Dosisbestimmung nach Inkorporation von Radionukliden

6.4.1 Direkter Nachweis radioaktiver Stoffe im menschlichen Körper

B. Breustedt

Der direkte Nachweis geringster Mengen radioaktiver Stoffe im menschlichen Körper ist nur möglich für Nuklide, die Gammaquanten genügend hoher Energie ($>30\text{keV}$) mit ausreichend hoher Emissionswahrscheinlichkeit emittieren. Eine gute Abschirmung des Messplatzes gegenüber des natürlichen Strahlenfeldes ist dabei unumgänglich. Die Messungen im In-vivo Messlabor werden daher in zwei Abschirmkammern aus (15 cm dickem) Stahl durchgeführt. Zum Einsatz kommen NaI(Tl)-Detektoren, NaI(Tl)-CsI(Tl)-Phoswichdetektoren und Reinstgermaniumdetektoren. Um aus den aufgenommenen Gammaskpektren die Aktivität im Körper zu bestimmen muss eine Kalibrierung vorliegen. Die Veränderung des Strahlenfeldes durch Wechselwirkung (z. B. Streuung) im Körper muss dabei geeignet berücksichtigt werden. Die Wirkungsgradbestimmung kann z. B. durch Messung mit anthropomorphen Phantomen, die den menschlichen Körper repräsentieren erfolgen. Alternativ können die Wirkungsgrade durch Simulationen mit der Monte-Carlo Methode bestimmt werden. Im Rahmen von Forschungsprojekten wird in der HS dazu das Programm MCNP eingesetzt. Dabei kommen Modelle der physikalischen Phantome sowie Voxelphantome, die eine realistischere Repräsentation des menschlichen Körpers liefern, zum Einsatz. Durch die Optimierung der Kalibrierung können die Nachweisgrenzen in den Messungen gesenkt und die Genauigkeit der Messwerte erhöht werden. Neue Detektorentwicklungen, die in der HS auf ihre Eignung hin untersucht werden, ermöglichen durch höhere Detektionseffizienz ebenfalls eine Verbesserung des in-vivo Nachweises radioaktiver Stoffe.

6.4.1.1 Characterisation of a Canberra Cryo Pulse CP-5 Radiation Detector

O. Marzocchi

The Whole Body Counter room installed in the HS department of the Forschungszentrum Karlsruhe is used for reference measurement of people without risks of contamination, for routine measurements of workers employed in industries subject to risk of contamination and for measurements of people known to be contaminated. The current system is comprised of four Na(Tl) scintillation detectors, able to efficiently detect photons in the energy range from about 100 keV to about 2500 keV, with a resolution of 100 keV. The main advantage of such system is the good efficiency, due to the sizes of the crystals, but the low resolution makes the identification of mixtures of unknown nuclides (as it happens in some contamination cases) extremely complex or impossible. The system is therefore planned for an upgrade, with the Na(Tl) scintillation detectors being replaced by high purity Germanium crystals, manufactured by Canberra GmbH. The new Germanium detectors require cooling to cryogenic temperatures, but use a compressor instead of liquid nitrogen, so no special modifications to the chamber are required. The advantage of the new crystals is the much higher resolution attainable, higher than 3 keV through the whole energy range (10-2000 keV). Another advantage of such detectors is the thin

entrance window, only few microns thick, so that photons down to 10 keV can be collected and counted. The useful energy range starts from about 30 keV, theoretically enough to detect low energy emitters such Lead-210. The main disadvantage of the new detectors is the much lower efficiency, that translates in lower count rates. The minimum detectable activity is, however, not much affected: the increase in resolution compensates for the lower efficiency.

The first step in the redesign of the whole body counter room was the characterisation of one of the new Germanium detectors, the first one shipped by Canberra GmbH. The final goal of this step is the validation of an MCNPX model of the detector, needed in order to save time by being able to simulate the new whole body counter room computationally, while keeping the number of measurements and the downtime of the chamber to a minimum.

In the first part of the characterisation, the counting rates in planes perpendicular to the detector axis were checked, in order to find out whether an axial-symmetric model of the detector head could be accurate enough for the purposes of the simulations. The results were positive, except for an anomaly near the backside of the crystal, where a 25 % decrease in the efficiency for 60 keV photons has been recorded. The source of this problem is still unknown, but it could be a non uniform ion implantation in the outer crystal electrode. This would explain why the problem affects only low energy photons: the outer electrode is a fraction of millimetre thick, comparable with the penetration depth of 60 keV photons. However, this problem has been considered as not important, since the detector will never be used with Marinelli or other 4π configuration, but only with bodies placed in front or on the sides of the entrance window. Canberra GmbH has been noticed about the problem and will investigate as soon as they have the detector back for the official characterisation and efficiency measurements.

In the second step of the characterisation, the efficiency of the detector in the r-z plane (distance from axis-distance from entrance window) was compared with the efficiencies obtained from the simulations. The absolute values could not be used because the point sources were not calibrated, but the ratio between the values has been found to be constant with uncertainties of less than 5 %, therefore the model was able to accurately reproduce the variation in sensitivity in the r-z plane. An accurate comparison of the absolute efficiencies calculated with MCNPX and the real efficiencies will be done after the official Canberra ISOCS calibration, planned for the first quarter of 2008.

The new detector has also been tested for microphony, the effect that worsen the peak resolution as consequence of vibrations of the crystal. The test were conducted with increasing amounts of stress on the crystal, until the effect has been found clearly visible. The results show no effects in all realistic operating conditions, just a small peak broadening when uncommon stresses are applied and a clearly visible peak broadening only with extreme stresses, to be avoided anyway, due to the risks for the crystal integrity itself.

After the characterisation, the detector has been installed in the whole body chamber for some preliminary tests with an Igor phantom, loaded with high energy and low energy nuclides. The results, obtained with only a mathematical calibration, show errors from +5 % to -20 %, depending on the nuclide. The values expose a problem of the model with high energy photons, so a refinement of the model is planned for the near future, as soon as the official calibration data from Canberra GmbH are ready.

Another test, with a subject contaminated with Am-241, shows about the same results: good agreement between the calculated and measured activities of low energy nuclides, worse agreement with high energy nuclides. More details of the real world test with the contaminated subject follow.

Measurements of a Subject Contaminated with Am-241: Comparison of Results obtained with a Cryo Pulse CP5 and Obtained with Computational Simulations of a MEETman Phantom

Olaf Marzocchi, 25 January 2008

On the 17th January 2008 a subject contaminated with an high amount of Am-241 and Pu-241 has been measured for routine check in the partial body counter room of the FZK. We used this opportunity to check the capabilities of the new Germanium detector from Canberra, the Cryo Pulse CP5, previously tested only with point sources and with few people not contaminated with artificial, low energy emitters.

The partial body counter has a group of four germanium detectors, and three phoswiches. Two of them have been used to measure either the knees, the lungs, the liver or the sides of the head, the other one for the back of the head. The new germanium detector has been placed on axis with the body, with the entrance window at a small distance from the top of the head (Abb. 6-26 and Abb. 6-27).

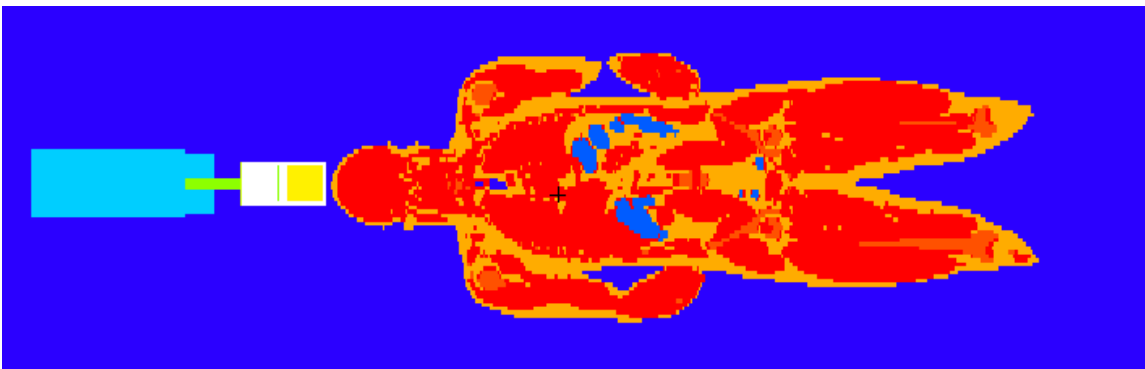


Abb. 6-26: Section on the Y plane of the MEETman phantom with the relative position of the Germanium detector



Abb. 6-27: Section on the X plane of the MEETman with the relative position of the Germanium detector

Calibration, physical and computational

The system has been first physically calibrated with the phantom of a head, loaded with a small amount of Americium in the skull. The measurement time was 3000 seconds, to compensate for the low activity of the phantom: 88 Bq. This calibration was used to estimate the ratio “counts/(Becquerel*second)” in the Germanium detector.

The calibration has been replicated with a computational simulation executed with MCNPX 2.5f. The head used for the simulation is a voxel phantom made from the MEETman, cut in the neck, just above the bones of the shoulders. In order to ease the calculation of the Americium content

of the whole skeleton, another simulation with the model of the whole phantom, down to the feet, has been executed.

Every MCNPX “simulation” is, de facto, the sum of two or three simulations: one with Americium dispersed in the bones, one with Potassium in the brain and one with Potassium in the muscles (this simulation has not been executed for the voxel phantom of the head). The brain has been taken into account because of its mass, located near the active volume of the detector, and because of the potassium content: 0.3 %, almost as high as the value of the muscles (0.4 %, values according to ICRP 89).

The comparison of the results of the simulation and of the measurement of the head phantoms show a discrepancy in the detection efficiencies. The values are summarised in Tab. 6-5.

	Activity (Bq)	Time (s)	Net area	E.P.	Efficiency (Bq*s)⁻¹
Physical calibration	88	3000	648	-	2.45E-3
Simulation	1	1	1.87E-3	0.74	1.38E-3

Tab. 6-5: Comparison of the results obtained with the head phantom

The discrepancy (1.8x) could be caused mainly by two factors:

- the different distribution of the radionuclide in the physical phantom, compared to the MEETman phantom;
- the different size and thickness of the skull of the phantom, compared to the skull of the MEETman.

A simulation of the whole skeleton produced results similar to the simulation of the head, the only difference is the efficiency, lower due to the percentage of loaded bones seen by the detector.

Results

The calculation of the activity contained in the whole skeleton has been done with two different methods: with the results of the simulations and with the aid of historical data, obtained with the measurements of the last years. The results are listed on Tab. 6-6.

	Mass fraction	Efficiency	Count rate (s⁻¹)	Activity (Bq)
Measurement	1	-	2.40E-1	-
Historical data	1	-	-	1000
Physical calibration	0.19	2.45E-3	4.66E-4	515
Simulation head	0.19	1.38E-3	2.62E-4	916
Simulation body	1	2.72E-4	2.72E-4	882

Tab. 6-6: Comparison of the results obtained with Americium-241

The comparison of the historical data with the results obtained with the physical calibration shows about the same substantial discrepancy (1.9x) found in the previous measurement (Tab. 6-5).

The discrepancy between historical data and the results of the computational model show a much better agreement: the difference is about 13 %.

A similar comparison has been performed with Potassium 40.

The amount of Potassium in the subject was measured with phoswitch detectors, then the count rate was compared with the value obtained from MCNPX.

Since the simulation of the brain has been performed separately from the simulation of the muscles, the Potassium content of the two organs could be scaled differently: initially the Potassium was placed uniformly in the body, so about 4.8 % of the Potassium was placed in the brain. This approximation lead to the result shown in the second line of Tab. 6-7, the match between the real count rate and the calculated count rate is bad, there is a 2x factor of difference.

The brain has been then taken into account separately, because its mass is not strictly related to the muscles of the subject, so the amount of Potassium dispersed in the brain was 4.8% of the value of the average person, with the body mass and structure of the MEETman. This approximation lead to a better match: the difference is smaller, albeit still relevant: 43 % of the measured value.

The comparison of the count rates is shown in Tab. 6-7.

	Eq. Activity Muscles (Bq)	Eq. Activity Brain (Bq)	Time (s)	Counts	Count rate (Bq*s)⁻¹
Measurement	2500	-	3000	167	2.22E-5
Simulation, uniform	2500	-	1	-	1.05E-5
Simulation, brain separate	2500	4000	1	-	1.55E-5

Tab. 6-7: Comparison of the results obtained with Potassium-40

6.4.1.2 Elektronentransport mit MCNP — insbesondere bei dünnen Volumina

B. Heide

Zur Bestimmung der Energiedeposition von β -Teilchen und (als Sekundärteilchen erzeugte) Photonen im Gewebe- oder im Detektormaterial wurden Eingabedateien für das stochastische Strahlentransportprogramm **MCNP (Monte Carlo N-Particle)** geschrieben, die sich auf Szenarien beziehen, welche sich aus dem folgenden, globalen Szenario ableiten lassen:

Strahler (Punkt-, Flächen-, oder zylinderförmige Volumenquelle mit Pm-147, Kr-85 oder Sr-90/Y-90) in unterschiedlichen Entfernungen zu Ausgleichsfiltern, Kugel- oder Zylinderoberflächen, Thermolumineszenz-Kristallen und zu einer Richtungs-Äquivalent-Dosisleistungssonde.

Als Observablen wurden (bzgl. verschiedener Flächen) die Fluenz und die planare Fluenz sowie die (in den verschiedenen Detektorkristallen) deponierten Energien und Holraum-Energiedosisleistungen numerisch berechnet. Es wurden u. a. auch Mesh-Tallies eingesetzt, die der Geometrie des Szenarios angepasst wurden.

Um zu zeigen, dass MCNP auch zur Simulation von Experimenten geeignet ist, die mit dem Beta-Sekundärnormal durchgeführt werden und deren Ziel es ist, Äquivalentdosen in verschiedenen Tiefen zu bestimmen, wurden mit MCNP Transmissionsfaktoren für verschiedene Gewebetiefen bzgl. einer Sr-90/Y-90 Flächenquelle numerisch berechnet. Der Transmissionsfaktor $T(d)$ für die Gewebetiefe „d“ ist definiert als der Quotient von $D_c(d)$ durch $D_c(0,07\text{ mm})$, wobei $D_c(d)$ die

Hohlraum-Energiedosisleistung (d.h. die Energiedosisleistung unter Einhaltung der Bragg-Gray-Bedingungen) in der Gewebetiefe d bezeichnet.

In Tab. 6-8 sind die mit MCNP berechneten Transmissionsfaktoren den von der PTB gemessenen Transmissionsfaktoren [PTB03] gegenübergestellt. Die mit MCNP berechneten Transmissionsfaktoren wurden hierbei unter Verwendung des *F8-Tally's generiert; die bei MCNP vorgegebene Anzahl der Zwischenschritte, in die die Weglänge eines Hauptschrittes unterteilt wird, wurde hierbei nicht verändert. Ferner wurde der bei MCNP voreingestellte Energieschritt-Algorithmus verwendet. Der Abstand zwischen der Sr-90/Y-90 Flächenquelle und dem Gewebeabsorber betrug 110,00 mm.

Absorberdicke [mm]	Transmissionsfaktor (MCNP-Simulation)	Transmissionsfaktor (Experiment, PTB)
0,02	0,96	$0,96 \pm 0,01$
0,04	0,98	$0,98 \pm 0,01$
0,05	0,99	$0,99 \pm 0,01$
0,07	1,00	$1,00 \pm 0,01$
0,10	1,01	$1,01 \pm 0,01$
0,20	1,08	$1,07 \pm 0,01$

Tab. 6-8: Vergleich der über eine MCNP-Simulation berechneten Transmissionsfaktoren mit den Transmissionsfaktoren, die von der PTB mit einer Extrapolationskammer gemessen wurden für verschiedene Absorberdicken und einer Sr-90/Y-90 Flächenquelle mit einem Radius von 23,50 mm.

Anhand der Tabelle ist ersichtlich, dass die Simulation das Experiment hinreichend gut wiedergibt. Die Transmissionsfaktoren enthalten allerdings aufgrund ihrer Definition als Quotient zweier Energiedosisleistungswerte weniger Information (Aussagekraft) als die zwei Energiedosisleistungswerte zusammengenommen. Daher kann, unter anderem, allein aus der obigen Übereinstimmung zwischen Experiment und Simulation die Simulation noch nicht als vertrauenswürdig eingestuft werden. Aus diesem Grunde wurden mit MCNP weitere Transmissionsfaktoren-Berechnungen für andere Quelle-Absorber-Abständen durchgeführt. Ferner wurden andere Elektronenenergien (Beta-Strahler) verwendet. Es zeigte sich hierbei, dass die MCNP-Simulationen nicht mehr mit den Experimenten übereinstimmten; sie hatten eine zu große systematische Abweichung. Aus diesem Grunde wurde in Tab. 6-8 auf die Angabe des zählstatistischen Fehlers (Gaußsches Fehlerfortpflanzungsgesetz) verzichtet.

Eine eingehende Problemanalyse ergab, dass zur Dosis-Berechnung (in dünnen Zylinderschichten mit kleineren Radien als die Flächenquelle, oder - effektiver - in dünnen Zylinder-Ring-Schichten mit Radien, welche über die maximale seitliche Ablenkung der Elektronen einer monodirektionalen Punktquelle festgelegt werden) folgendermaßen verfahren werden sollte:

1. Anstelle des voreingestellten Energieschritt-Algorithmuses (MCNP-Karte: dbcn 17j 0) ist der ITS-Algorithmus (MCNP-Karte: dbcn 17j 1) oder der streuungsspezifische Energieschritt-Algorithmus (MCNP-Karte: dbcn 17j 2) zu verwenden.
2. Zur Bestimmung der Dosis in einem gewebeäquivalenten (zylinderförmigen) Volumen V sind vom anfänglichen kinetischen Energiespektrum der Elektronen ca. 10 repräsentative (Mono-) Energien $E^{(i)}$ ($i \in [1, 10]$) auszuwählen (vgl. [Cro92]).

3. Das Volumen „V“ wird sodann in Bereiche der Dicke Δ unterteilt, wobei gilt (vgl. [Rey02]):
$$\Delta = 0,85 \cdot (\text{Energieverlust pro Energieschritt}) \cdot (\text{CSDA range}) \cdot 1,00\text{E-}03 \text{ mm.}$$
Der letzte Term in Klammern bezeichnet die mittlere Bahnlänge in der Continuous-Slowing-Down-Näherung bzgl. der kinetischen Energie $E^{(i)}$. Für den Energieverlust pro Energieschritt wird der bei MCNP voreingestellte Wert von 8,3 % genommen.
4. Falls erforderlich, werden die Bereiche der Dicke Δ in dünne Segmente der Dicke 0,02 mm unterteilt. Die Segmente bzw. Volumenschicht-Bereiche werden derart positioniert, dass ihr Mittelpunkt in der Tiefe liegt, auf die sich die zu berechnende Dosis bezieht.
5. Danach werden die in den Segmenten bzw. Volumenschicht-Bereichen deponierten Energiedosen für jede Monoenergie berechnet. Zur Berechnung der Energiedosen in den Volumenschicht-Bereichen wird der *F8-Tally benutzt. Zur Berechnung der Energiedosen in den Segmenten wird zusätzlich, wie in Referenz [Sch02] beschrieben, ein modifizierter F4-Tally benutzt.
Falls erforderlich, wird die bei MCNP vorgegebene Anzahl der Energie-Zwischenschritte erhöht.
6. Zum Schluss werden die (Monoenergie-) Dosen mit dem Energiespektrum beim Zerfall gewichtet und gemittelt, um die Dosis bzgl. des realen Flächenstrahlers zu erhalten.

Die Berechnung der (mittleren) Dosis in dünnen Volumina (in denen die Elektronen nicht gestoppt werden) kann näherungsweise einfacher durchgeführt werden, in dem man die Fluenz mit dem Massen-Stoßbremsvermögen des Volumens (Mediums) multipliziert.

Bei dickeren Volumina muss, im Falle einer signifikanten Änderung der Fluenz (aber immer noch im Falle von das Volumen durchdringenden Elektronen), zur Berechnung der mittleren Dosis die Fluenz mit der Energiedeposition multipliziert und durch die flächenbezogene Masse dividiert werden.

Abschließend sei erwähnt, dass bei planaren Detektorkristallen und schräg einfallender Strahlung zur Berechnung der Energiedeposition die planare Fluenz genommen werden muss.

6.4.1.3 Numerische Effizienzkalibrierung bei In-vivo-Messverfahren mittels an den Probanden angepassten Voxelmodellen

L. Hegenbart, B. Heide

Im Rahmen einer Forschungsarbeit soll das Verfahren der numerischen Kalibrierung eines Teilkörperzählers verbessert werden. Verbesserungen sind durch die Umsetzung der folgenden Punkte zu erwarten:

- Weiterentwicklung von rechnergestützten Werkzeugen
- Genauere Erfassung der Abstände zwischen dem Probanden und den Detektoren
- Selbstentwickelte Voxelmodelle für die Validierung der numerischen Simulation
- Die individuelle Anpassung von Voxelmodellen an den jeweiligen Probanden

Weiterentwicklung rechnergestützter Werkzeuge

Die selbstentwickelte Software *Voxel2MCNP* (Abb. 6-28), mit der einfach und schnell MCNP-Messszenarien mit Voxelmodellen erstellt werden können, wurde weiterentwickelt. Visualisierungen basieren nun auf dem Visualization Toolkit [Kitwares VTK-Homepage: <http://www.vtk.org/>]. Neben einer interaktiven dreidimensionalen Detektorpositionierung im visualisierten Messszenario (Abb. 6-29), wurde die Software auch für die Generierung und Dar-

stellung von sogenannten Mesh-Tallys erweitert. Oberflächen gleicher Dosis lassen sich damit dreidimensional darstellen. Verbessert wurde auch der Funktionsumfang zur Modifikation von Voxelmodellen. Beispielsweise lassen sich Modellregionen ausschneiden und Leerräume füllen. *Voxel2MCNP* ist plattformunabhängig und wurde auf Windows und MacOSX erfolgreich getestet.

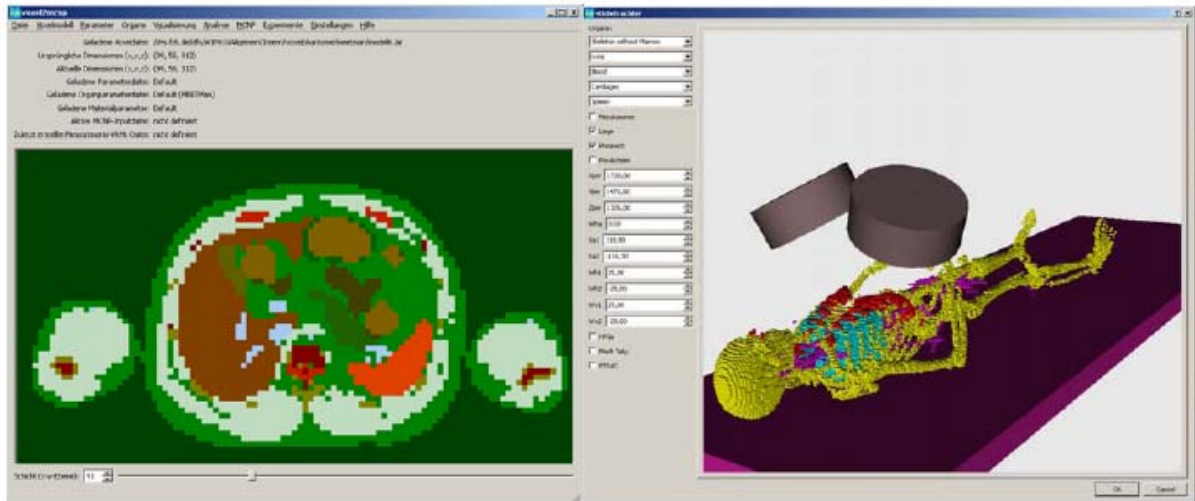


Abb. 6-28: Voxel2MCNP-Bedienoberfläche Abb. 6-29: Voxel2MCNP-3D-Visualisierung

Genauere Erfassung der Abstände zwischen dem Probanden und den Detektoren

Um reale Messungen mit numerischen Simulationen vergleichen zu können, müssen die geometrischen Abmessungen in der Simulation mit der Realität übereinstimmen. Sensitivitätsanalysen haben gezeigt, dass eine genaue Ermittlung der Abmessungen notwendig ist. Die Position von Detektor und Proband muss daher millimetergenau bestimmt werden, um die Abweichungen im Wirkungsgrad unter 3 % zu halten. Daher wurden Sensoren am Phoswich-Detektorsystem installiert, aus deren Messwerten sich die genaue Position der Phoswich-Detektoren erfassen lässt. Die Sensoren sind mit Hilfe einer Schnittstelle über Ethernet mit *Voxel2MCNP* auslesbar. Somit erhält man die Detektorposition an einem beliebigen Computer, der mit dem Netzwerk verbunden ist, dreidimensional visualisiert. Die Lage des Probanden kann mit dem installierten Sensorensystem über ein optisches Peilverfahren ermittelt werden.

Selbstentwickelte Voxelmodelle

Ein Voxelmodell unseres Lawrence-Livermore-Realistic-Torsophantoms [Gri78] wurde erstellt, um die MCNP-Simulationen der Messszenarien mit den ermittelten geometrischen Parametern der Sensoren zu validieren. Dreidimensionale Datensätze des Torsophantoms mit vier verschiedenen Overlays (Auflagen) wurde an den Vincentius Kliniken von Prof. K.-J. Lehmann per Computertomographie erstellt. Die Datensätze mit den Dimensionen 512 x 512 x 633 Voxel bei einer Auflösung von 0,9375 mm x 0,9375 mm x 0,8 mm wurden mit Hilfe der Software Osirix [Osirix-Homepage: <http://www.osirix-viewer.com>] segmentiert. Dabei entspricht jedes herausnehmbare Einzelteil des Phantoms sowie das in der Brust- und Rückenschale eingeschlossene Knochenimitat einem Segment bzw. einem Organ. Mit Hilfe von *Voxel2MCNP* wurden die Organe zu einem kompletten Voxelmodell des Torsophantoms zusammengesetzt. Die segmentierten Overlays, die zur Simulation verschiedener Brustwandstärken dienen, können bei Bedarf dem Voxelmodell des Torsophantoms aufgesetzt werden. Für MCNP-Simulationen mit dem Torsophantom sind die Bestimmung der Dichte und die elementare Zusammensetzung der Organe von entscheidender Bedeutung. Literaturangaben und eigene Messwerte dieser Parameter komplettierten das Voxelmodell für den Einsatz in Monte-Carlo Simulationen. Erstmals stehen

nun dem In-vivo-Labor gleichzeitig ein reales Phantom (Abb. 6-30) und sein virtuelles Abbild (Abb. 6-31) als Voxelfantom zur Verfügung.



Abb. 6-30: Originale Rückenschale des LLNL-Torso-Phantoms.

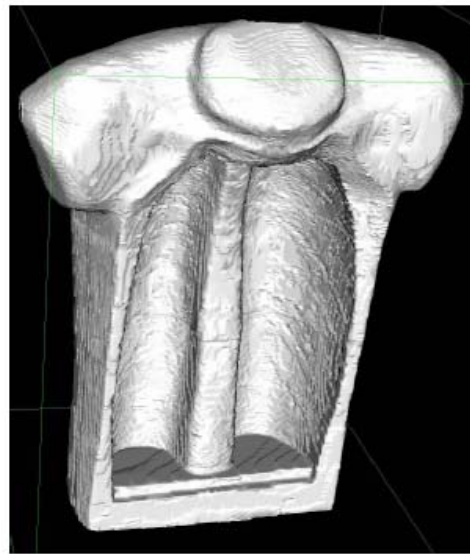


Abb. 6-31: Virtuelles Modell der Rückenschale.

Individuelle Anpassung von Voxelmodellen

Um ein Messzenario mit einem Individuum numerisch nachzustellen, benötigt man individuelle Voxelmodelle. Lineare Transformationen des Voxelmodells reichen besonders bei niederenergetischen Strahlentransportvorgängen nicht aus. Organe müssen sich dazu nicht-linear verformen lassen. Probandenoberflächen können dem zu verformenden Voxelmodell äußerlich Randbedingungen setzen. Im Inneren des Modells müssen jedoch Ausdehnungs- und Stauchungseigenschaften für jedes Organ unterschiedlich betrachtet werden.

Hierzu wurde ein einfaches Verfahren entwickelt, dass nicht-lineare, organgewichtete Transformationen zulässt. Das Prinzip der Transformation beruht auf dem Hookeschen Gesetz, bei dem die Kraft gleich einer Federkonstante mal einer Längenänderung ist: $F = D \cdot \Delta l$. Man kann sich das Verfahren so vorstellen, dass alle Voxel eines Voxelmodells in ihrem Mittelpunkt über Federn mit seinen sechs Nachbarn verbunden sind. Jeder Voxelart, bzw. jedem Organ wird eine Federkonstante zugewiesen. Bei einer Reihenschaltung von Einzelfedern bestimmt sich die Gesamtfederkonstante der Reihe über

$$D = \left(\sum_{i=1}^{i_{\max}} D_i^{-1} \right)^{-1}.$$

Bringt man in eine Federreihe mit starren Wänden an den Enden in der anfangs keine Kräfte herrschen eine zusätzliche starre Länge Δl als willkürliche Ausdehnung ein, so verteilt sich diese Längenänderung auf die Federn je nach Federkonstante unterschiedlich. Weiche Federn mit niedriger Federkonstante werden stärker komprimiert als harte Federn. Die wirkende Kraft in der Reihe ist überall konstant und spielt für die Transformation selber keine Rolle. Die veränderte Länge Δl_i einer Feder mit dem Index i ist $\Delta l_i = D/D_i \cdot \Delta l$ und ist eine Translationskomponente in Reihenrichtung für das zugehörige Voxel in der Reihe. Man kann also über die Federkonstante festlegen, wie stark sich ein Organ verformen lässt. Die Federreihen eines Voxelmodells werden zwecks Vereinfachung unabhängig voneinander betrachtet. Diskrete Koordinaten der Voxelpositionen gehen durch die Transformation in kontinuierliche Koordinaten über.

Die Berechnung (siehe auch Abb. 6-32) der transformierten Mittelpunktskoordinaten x_m , y_m und z_m erfolgt nach folgender Formel (hier exemplarisch nur die x-Komponente):

$$x_m(m,n,o) = x_m(m-1,n,o) + 1/2(k_x + l_{x,m-1} - D_{x,n,o}/D_{x,m-1} \cdot \Delta L_{x,n,o}) + 1/2(k_x + l_{x,m} - D_{x,n,o}/D_{x,m} \cdot \Delta L_{x,n,o}) \text{ f\"ur } 0 < m < m_{max}$$

und

$$x_m(m,n,o) = 0 + 1/2(k_x + l_{x,m} - D_{x,n,o}/D_{x,m} \cdot \Delta L_{x,n,o}) \text{ f\"ur } m=0,$$

mit den Voxelpositionsindizes = (m, n, o) ,

der Voxellänge in x-Richtung = k_x ,

zusätzlich eingebracht Länge am Voxel $m = l_{x,m}$,

der Federkonstante vom Voxel $m = D_{x,m}$,

der Reihenfederkonstante der Reihe $n, o = D_{x,n,o}$,

und der Summe der eingebrachten Längen in der Reihe $n, o = \Delta L_{x,n,o}$.

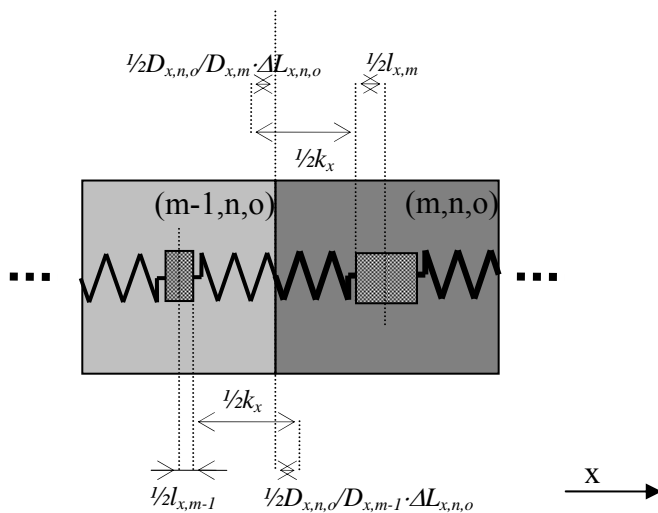


Abb. 6-32: Die Komponenten für die Mittelpunktsberechnung im Einzelnen

Aus den anfangs rechtwinkligen Voxel-Quadern werden Hexaeder. Der Mittelpunkt des ursprünglichen Voxel wird durch die Transformation zum Mittelpunkt des verformten Hexaeders. Eine zweite vereinfachende Annahme ist die Folgende. Die Eckpunkte müssten richtigerweise über Schwerpunktsberechnungen ermittelt werden. Um Rechenzeit zu sparen werden jedoch die Eckpunkte aus dem arithmetischen Mittelwert der Koordinaten der acht benachbarten Mittelpunkte berechnet. Die für die Verwendung in MCNP notwendige Neuvernetzung des verformten Hexaedermodells zu einem Voxelmodell erfolgt mit fertigen Algorithmen des Visualization Toolkits oder des Insight Toolkits [Kitwares ITK-Homepage: <http://www.itk.org/>].

6.4.1.4 Numerische Simulation von im Karlsruher Ganzkörperzähler gemessenen IGOR-Spektren

S. Sessler, L. Hegenbart, B. Heide

Im Rahmen einer Studienarbeit [Sess07] wurden sowohl die physikalischen als auch technischen Grundlagen für die Simulation des Karlsruher Ganzkörperzählers erarbeitet. Mithilfe von MCNP erfolgten die Nachbildung der Geometrie des Karlsruher Ganzkörperzählers sowie die Imple-

mentierung des Ziegelphantoms IGOR [Res97] mit der Masse von 70 kg. Damit waren die Vorbereitungen für die numerischen Simulationen getroffen. In der daran angeschlossenen Diplomarbeit [Sess07] folgten die Implementierung des Ziegelphantoms IGOR (Abb. 6-33) in den sechs Konfigurationen P_1 bis P_6 entsprechend den Massen von 12 kg bis 110 kg und eines Flaschenphantoms (Abb. 6-34) mit den Massen von 10 kg bis 100 kg sowie deren Simulationen mit



Abb. 6-33: Ziegelphantom (Konfiguration P_5).



Abb. 6-34: Flaschenphantom (70 kg).

MCNP.

Neben den Simulationen zur Bestimmung der Wirkungsgradwerte wurden Simulationen mit unterschiedlichen Variationen in der Simulationsgeometrie durchgeführt. Dabei handelt es sich um Veränderungen bzgl. den Detektoren, der Messkammerabschirmung, der Positionierung der Kalibrierphantome und des Füllmaterials der Flaschen des Flaschenphantoms.

Unter Verwendung des Ziegelphantoms IGOR in der Konfiguration P_4 und des Nuklids Cs-137 zeigte sich, dass eine abweichende Dichte der Reflektorschicht der Detektoren von den Herstellerangaben sowie eine Nichtbeachtung der Messkammerabschirmung in der Simulationsgeometrie einen vernachlässigbaren Effekt auf das Simulationsergebnis haben. Abweichende Kristallabmessungen von den Herstellerangaben und damit unterschiedliche Volumina haben einen größeren Einfluss auf den Wirkungsgrad: Bzgl. der ROI von Cs-137 ergaben sich bei einer jeweiligen Verkleinerung der Durchmesser und der Höhen der Kristalle um einen Millimeter eine Verminderung des Wirkungsgrades von 1,3 % und bei einer Vergrößerung um einen Zentimeter eine Erhöhung des Wirkungsgrades von 13,6 %. Des Weiteren lässt sich durch eine geeignete Neigung der Detektoren eine Erhöhung des Wirkungsgrades erreichen: Die Simulation der aktuell im Ganzkörperzähler vorhandenen geneigten Position der Detektoren ergab einen um 1,4 % größeren Wirkungsgrad als eine Simulation mit paralleler Ausrichtung der Zylinderachsen der Detektoren zur y-Achse. Ergänzend hat eine Verschiebung der Kalibrierphantome eine Auswirkung auf den Wirkungsgrad, wodurch sich eine maximale Steigerung des Wirkungsgrades um bis zu 4,3 % erreichen lässt. Bei der Simulation des 70-kg-Flaschenphantoms und des Nuklids K-40 zeigt sich für die unterschiedlichen Füllmaterialien, dass die Wirkungsgradwerte im Wesentlichen von der Dichte des Materials der Flaschenfüllungen abhängig sind. Je größer die Dichte der Füllsubstanz, desto kleiner der Wirkungsgrad und umgekehrt. Die Zusammensetzung der Materialien spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

Die Plausibilität der Simulationsergebnisse wurde anhand von Experimenten in Form von Messungen mit den Kalibrierphantomen am Ganzkörperzähler überprüft. Wirkungsgradbestimmungen erfolgten zum einen mit den zehn Gewichtsklassen des mit Kaliumchloridlösung befüllten und im Ganzkörperzähler permanent zur Verfügung stehenden Flaschenphantoms. Zum

Anderen kam bei den Messungen das vom Bundesamt für Strahlenschutz entliehene Ziegelphantoms IGOR in den sechs Konfigurationen P₁ bis P₆ unter Verwendung der Radionuklide Ba-133, Cs-137, Co-60 und K-40 analog zu den bei den Simulationen verwendeten Radionukliden zum Einsatz. Die bei den Messungen mit den beiden Kalibrierphantomen aufgenommenen Spektren dienen als Kalibrierspektren für die Auswertung der Ganzkörpermessungen. Die Messungen lieferten mit den Simulationen für beide Kalibrierphantome vergleichbare Ergebnisse (Abb. 6-35), dabei zeigte sich, dass die Wirkungsgradwerte der Simulationen gegenüber den Wirkungsgradwerten aus den Messungen zwischen 0,5 % und 9,0 % erhöht sind. Die durchschnittliche Abweichung beträgt 4,5 %.

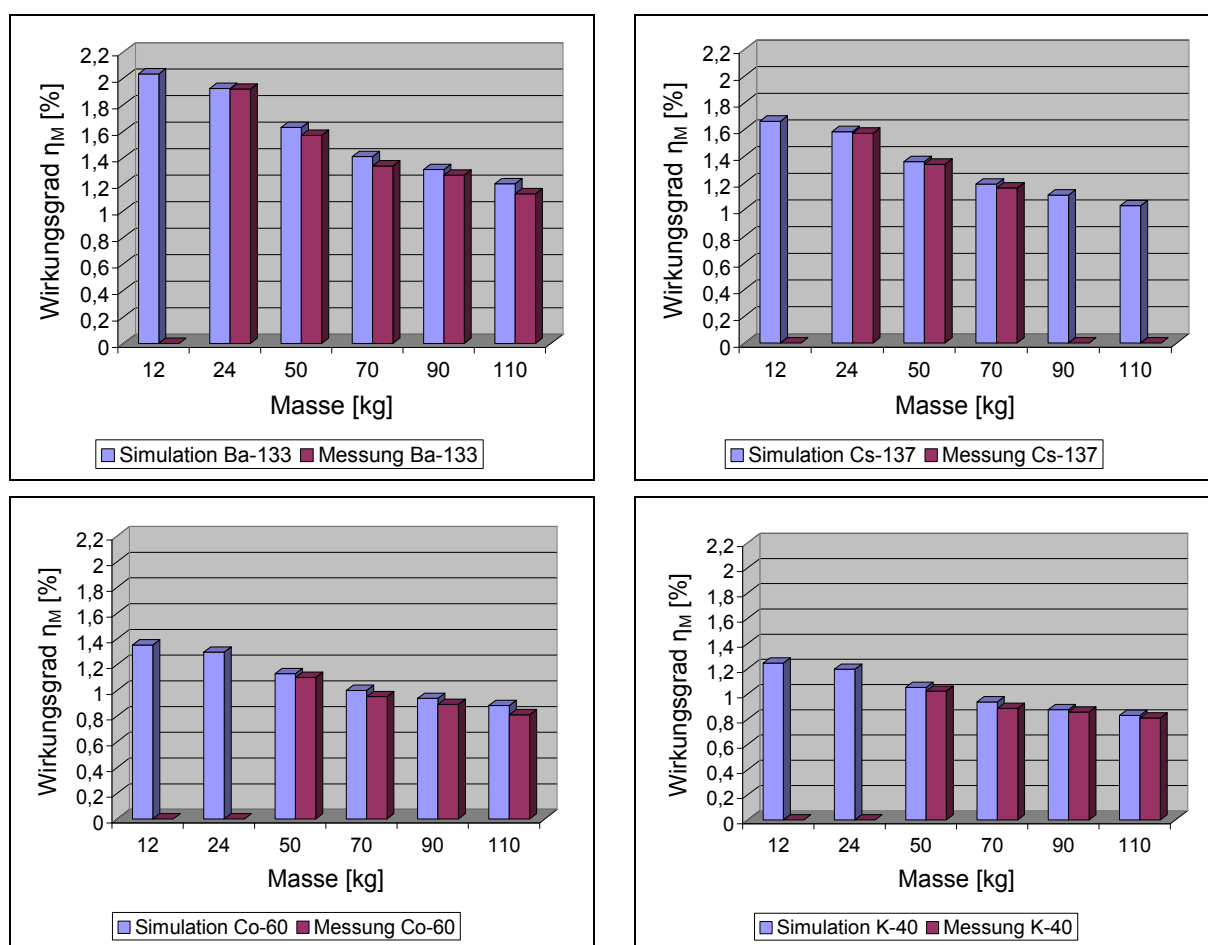


Abb. 6-35: Abhängigkeit der Wirkungsgradwerte η_M in % von der Masse des Ziegelphantoms IGOR für die Simulationen und die Messungen unter Verwendung der Nuklide Ba-133, Cs-137, Co-60 und K-40.

Damit ergibt sich zukünftig als alternative Möglichkeit neben den Messungen mit den Kalibrierphantomen am Ganzkörperzähler mithilfe von Computersimulationen und Abweichungen $< 10\%$ die zur Berechnung der Aktivitäten inkorporierter Radionuklide benötigten Wirkungsgradwerte zu ermitteln. Die Nachteile der Messungen wie ein erheblicher Zeit- und Kostenaufwand für die Beschaffung und den Aufbau der Phantome, ein zwischenzeitlich nicht für Kundenmessungen zur Verfügung stehender Ganzkörperzähler sowie eine Strahlenbelastung für das Personal entfallen dabei. Die Autoren danken Dr. M. Schläger und Dr. P. Hill (Geschäftsbereich S, Forschungszentrum Jülich GmbH) für erhellende Diskussionen und wertvolle Mitteilungen.

6.4.2 Biokinetik radioaktiver Stoffe im Körper

B. Breustedt

Werden radioaktive Stoffe in den Körper aufgenommen, nehmen sie an Stoffwechselprozessen teil. Sie werden im Körper transportiert, lagern sich in Organen an und werden wieder ausgeschieden. Die Aufnahme in den Körper erfolgt über die Atemwege (Inhalation), den Verdauungstrakt (Ingestion) oder durch kontaminierte Wunden (Invulneration). In medizinischen Anwendungen wird die Aktivität auch direkt ins Blut gespritzt (Injektion). Der Transport im Körper erfolgt im wesentlichen über das Blutplasma und das extrazelluläre Wasser (sog. Transferkompartiment), die Ausscheidung über Urin und Stuhl bzw. über Exhalation und Schweiß. Zur Beschreibung des Stoffwechsels verschiedener Elemente und Verbindungen werden biokinetische Modelle im Kompartimentformalismus verwendet. Diese unterteilen den Körper in Untereinheiten (Kompartimente), zwischen denen der Stoff transportiert wird. Kompartimente können Gewebe/Gewebegruppen (z. B. Weichteilgewebe), einzelne Organe (z. B. Gonaden) oder Organanteile (z. B. Knochenoberfläche) sein. Mathematisch werden die Kompartimentsysteme durch Differentialgleichungssysteme beschrieben. Die Struktur des Modells beschreibt die möglichen Stoffwechselffade für den betrachteten Stoff. Die Rate, mit welcher der Transport des Stoffes zwischen den einzelnen Kompartimenten erfolgt, ist (bei angenommener linearer Kinetik) zum Inhalt des abgebenden Kompartiments proportional. Die Transfergeschwindigkeit wird durch den sog. Transferkoeffizienten bestimmt. Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) veröffentlicht solche systemischen Modelle und ihre Parameter für verschiedene Nuklide/Verbindungen. Zusätzlich gibt es generische Modelle für den Atemtrakt, den Verdauungstrakt und Wunden die für alle Nuklide gleichermaßen gelten. Aus den Differentialgleichungen der Modelle können die zeitlichen Verläufe der Ausscheidung des Radionuklids oder die Anreicherung in einzelnen Organen (Retentionsfunktionen) berechnet werden. Durch den Vergleich tatsächlichen Ausscheidungsverläufe bzw. Retentionsfunktionen mit den Modelllösungen, kann die Aktivität der in den Körper aufgenommenen Radionuklide und die daraus folgende Strahlendosis abgeschätzt werden. In der HS werden im Rahmen von Forschungsprojekte hauptsächlich Modelle für Plutonium und Transurane unter folgenden Aspekten betrachtet:

- Modellierung der Dekorporationstherapie
- Physiologische Basis der Modelle
- Untersuchung der statistische Eigenschaften der Stoffwechselmodelle

6.4.2.1 Entwicklung biokinetischer Modelle zur Beschreibung der Wirkung von DTPA in Hinblick auf die Diagnostik und Therapie bei Inkorporationen von Plutonium und anderen Transuranen

B. Breustedt

Dekorporationstherapie

Als therapeutische Maßnahme zur Reduktion der Strahlenexposition nach einer Inkorporation kann die Ausscheidung des beteiligten Radionuklids mit geeigneten Medikamenten beschleunigt werden. Die Beschleunigung der Radionuklidausscheidung erfolgt durch eine chemische Komplexierung (Chelatbildung) mit einer Verbindung, die aufgrund ihrer guten Löslichkeit schnell ausgeschieden wird. Für die Dekorporation von Plutonium und Transuranen zeigte sich **Diethylen-Triamin-Penta-Acetat (DTPA)** als wichtigster Chelatbildner. Dieses in Deutschland als Arzneimittel zugelassene Medikament ist nahezu nebenwirkungsfrei, wirkt aber nicht selektiv für Transurane, sondern komplexiert auch andere Metallionen, so dass deren Spiegel im Körper während der Therapie überwacht werden müssen. Verwendet wird das Ca- oder Zn-Salz der DTPA, welches als intravenöse Infusion verabreicht wird [Rup01].

Einen Tag nach der DTPA-Gabe ist eine deutliche Erhöhung der mit dem Urin ausgeschiedene Aktivität der inkorporierten Radionuklide zu beobachten. Im Urin liegt diese für ^{239}Pu bei einem Faktor von ca. 40-120, im Stuhl bei einem Faktor von ca. 10 [Vol78]. Die Überhöhung der Ausscheidung der Transurane nach einer DTPA-Gabe ist über einige Tage hin zu beobachten, obwohl der überwiegende Teil des applizierten DTPA bereits nach einem Tag ausgeschieden wurde („Nachklangeffekt“). Dies wird dadurch erklärt, dass der Chelatkomplex zeitweise durch Bildung eines „ternären Komplexes“ an interne Rezeptoren gebunden und danach verzögert ausgeschieden wird [Vol78]. Die folgende Abbildung zeigt die gemessene Ausscheidungsüberhöhung nach der DTPA-Therapie in einem Wundinkorporationsfall.

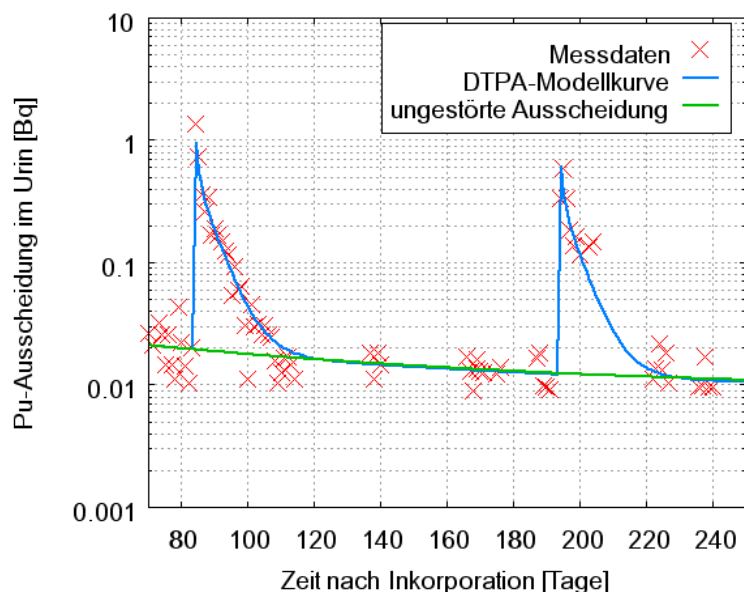


Abb. 6-36: Zum „Nachklangeffekt“ der DTPA-Wirkung, die DTPA-Gaben erfolgten an den Tagen 83 und 193

Die Wirkung von DTPA beschränkt sich auf den extrazellulären Raum, da auf Grund ihrer negativen Ladungen und der hydrophilen Natur Chelate die Zellmembranen nicht aktiv durchdringen können [Vol78]. Für einen möglichst großen Therapieerfolg ist es daher wichtig mit der Therapie zu beginnen bevor das Radionuklid in den Organen/Geweben eingelagert wird. Die Berechnung der aufgenommenen Aktivität und der daraus resultierenden Dosis kann nach einer DTPA-Gabe aber nicht mehr mit den bekannten systemischen Stoffwechselmodellen erfolgen.

Modellierung der Dekorporationstherapie

Zur mathematischen Beschreibung der Dekorporationstherapie können zwei unterschiedliche Vorgehensweisen angewandt werden.

- Empirische Modellierung

Es werden lediglich die Zeitverläufe der Ausscheidungsraten betrachtet und mathematisch modifiziert, um die Wirkung des DTPA zu berücksichtigen.

- Kompartimentformalismus

In einem vorhandenen Kompartimentmodell werden Strukturen und Raten verändert um die Wirkung des DTPA zu beschreiben.

Mit einer empirischen Modellierung können nur Informationen über die durch die Therapie zusätzlich ausgeschiedene Menge des Radionuklids gewonnen werden. Aussagen über die Dosisre-

duktion in einzelnen Organen können nur auf Basis von Kompartimentmodellen getroffen werden.

Empirische Modellierung

Erste Ansätze zur empirischen Beschreibung der durch DTPA beeinflussten Urinausscheidung stammen aus den 1970er Jahren. Jech et al. [Jec72] gehen davon aus, dass 100 Tage nach der DTPA-Gabe die Ausscheidungskinetik wieder ungestört verläuft und berechnen aus solchen Messwerten die „effektiv aufgenommen Aktivität“ und daraus die Dosis. Mit diesem Modell kann aber weder eine Aussage über die Effizienz der Therapie (d. h. die Dosisreduktion durch die Therapie) getroffen werden noch kann die Dosisbewertung zeitnah zur Inkorporation erfolgen. Im Modell von Hall et al [Hal78] wird versucht, basierend auf empirischen Ausscheidungsfunktionen den Effekt der Chelation zu beschreiben. Im Rahmen des gegenwärtigen Projektes wurde das Hall'sche Modell modifiziert und entsprechende Software entwickelt um das Modell effizient anwenden zu können. Eine Beschreibung dazu befindet sich u. a. im Jahresbericht 2006 [Urb06].

Kompartimentformalismus

Durch die DTPA-Gabe wird die Biokinetik gestört. Dieses kann in den Kompartimentmodellen z. B. durch eine zeitliche Änderung der Transferkoeffizienten erfolgen. Alternativ kann die DTPA-Gabe durch das Einführen neuer Kompartimente bzw. das Öffnen neuer Stoffwechselfade im Modell eingeführt werden. An einem vereinfachten Modell für den Pu-Stoffwechsel wurden verschiedene Möglichkeiten, die Transferraten nach DTPA-Gaben zu variieren, untersucht. Eine Überhöhung der Transferkoeffizienten (Blut nach Harnblase/Urin) mit einem exponentiellen Abklingen zurück auf den jeweiligen Ausgangswert kann vorhandene Messdaten am besten beschreiben. Die Dauer der Abklingphase muss dabei aber ca. 20 Tage betragen. Dieses ist unphysiologisch lange, da die Halbwertszeit der DTPA im Körper nach [Sta83] ca. 12h beträgt. Um diese unnatürlich lange Wirkphase zu vermeiden, kann im Modell ein zusätzliches Kompartiment Pu-DTPA eingeführt werden. Dieses wird dann in einem realistischen Zeitrahmen (z. B.: ein Tag = zwei Halbwertszeiten) gefüllt. Aus diesem Kompartiment kann dann zusätzliches Plutonium „langsam“ ins Urin abgegeben werden. Dieses Speicherkompartiment kann als sogenannter ternärer Komplex interpretiert werden. Einige Autoren [Vol78] sehen DTPA auch in der Lage einige seiner acht Ligandenplätze an endogene Rezeptoren (z. B.: Gefäßwände) zu vergeben und dennoch Plutonium binden zu können. Diese fixen Bindungen werden dann „langsam“ gelöst und es kommt zu einer langfristig erhöhten Ausscheidung von Plutonium im Urin. Eine Beschreibung und Ergebnisse dieses Modellansatzes findet sich im Jahresbericht 2006 [Urb06].

Das CONRAD-Projekt (A „Coordinated Network for Radiation Dosimetry“) ist ein im sechsten EURATOM-Rahmenprogramm von der EC gefördertes Netzwerk. In der Task Group 5.2 „Research studies on biokinetic models“ unter Leitung von D. Noßke (BfS) wurde unter anderem mit der gemeinsamen Entwicklung eines Modells für die DTPA-Therapie begonnen. Diese Arbeiten erwiesen sich als so umfangreich, dass diese in einer eigene Gruppe, die durch zusätzlichen Experten außerhalb von CONRAD erweitert wurde, weitergeführt werden. Diese Gruppe wird gemeinsam von FZK und IRSN geleitet und hat derzeit 26 Mitglieder, die halbjährlich in Verbindung mit den Treffen der CONRAD Gruppe ihre neuesten Ergebnisse austauscht und diskutiert. 2007 fanden in Karlsruhe, Athen und Paris solche Treffen statt. Eine gemeinsame Modellstruktur wurde entwickelt, diskutiert, an theoretischen Beispielszenarien und mit Daten echter Inkorporationsfälle getestet.

Grundidee dieses Modells ist es die Biokinetik des inkorporierten Plutoniums und des injizierten DTPA zunächst unabhängig voneinander zu betrachten und über eine explizite Darstellung der Komplexbildungsreaktion zu verknüpfen und auch die Biokinetik des Pu-DTPA in einem eigenen System zu betrachten. Es werden daher drei Kompartimentsysteme aufgestellt. Für die Plutoni-

umbiokinetik (System y) wird das Modell von Leggett et al. [Leg05] verwendet. Für den Stoffwechsel des „reinen“ DTPA (System x) wurde das Modell von Stather [Sta85] zugrunde gelegt. Als erste Näherung wird dieses Modell auch für den Pu-DTPA Komplex (System z) verwendet. Eine Alternative Formulierung, die auf einem physiologischen Verständnis des Extrazellulärraums beruht, wurde erarbeitet und soll zukünftig verwendet werden. Die Komplexbildung wird durch einen Term, der abhängig ist von den Inhalten der jeweiligen Kompartimente im Pu und im DTPA System. Die Kompartimente, in denen die Reaktion stattfindet wurden identifiziert (im Leggett Modell Blood 1 und ST0). Eine Erweiterung auf Leber bzw. Knochenkompartimente wird diskutiert. In den Differentialgleichungen dieser Kompartimente wird jeweils ein Term zur Beschreibung der Reaktionskinetik ergänzt.

$$\begin{array}{l}
 \text{« Standard System »} \qquad \qquad \qquad \text{« chemische Reaktion »} \\
 \frac{d}{dt} x[i] = -k_1 * x[1] + k_2 * x[2] + \dots - K_R * x[i] * y[i] \\
 \frac{d}{dt} y[i] = -k_4 * y[1] + k_3 * y[2] + \dots - K_R * x[i] * y[i] \\
 \frac{d}{dt} z[i] = -k_5 * z[1] + k_6 * z[2] + \dots + K_R * x[i] * y[i]
 \end{array}$$

Die Transferkoeffizienten k_1, k_2, \dots beschreiben den biokinetischen Transport der Atome bzw. Moleküle (Standardmodell). Die Kinetik der Komplexbildungsreaktion, die Atome/Moleküle von den Systemen x und y in das System z transferiert, wird durch die Ratenkonstante K_R beschrieben. Der Wert dieser Konstante kann von den Umgebungsbedingungen (z. B. pH-Wert, Konkurrenzreaktionen), in der die Reaktion stattfindet abhängen. Im ersten Schritt wird aber angenommen, dass K_R in allen Kompartimenten den selben Wert hat. Es muss in Einheiten von Atomen/Molekülen bzw. Mol gerechnet werden um den 1:1-Charakter der Komplexbildung wiedergeben zu können. Da die Molverhältnisse der Standard-DTPA-Dosis zu Menge an inkorporiertem Plutonium im Bereich von 10^6 liegen, müssen numerisch mehrere Größenordnungen in der Lösung der Differentialgleichungen gehandhabt werden. Dies kann zu Problemen bei den Näherungsverfahren führen. Der Algorithmus muss daher besonders sorgfältig ausgewählt werden.

Die mit dem Modell berechnete Urinausscheidung zeigt nach der DTPA-Gabe eine Überhöhung. Durch den Parameter K_R kann der Überhöhungsfaktor in der Urinausscheidung gesteuert werden. Der überwiegende Anteil des ausgeschiedenen Plutoniums kommt dabei aus dem Pu-DTPA-System (System z). Die Überhöhung klingt allerdings recht schnell wieder ab, da durch den Überschuss an DTPA die jeweiligen Kompartimente im Plutonium Modell rapide geleert werden und die Komplexbildung daher nahezu zum Erliegen kommt.

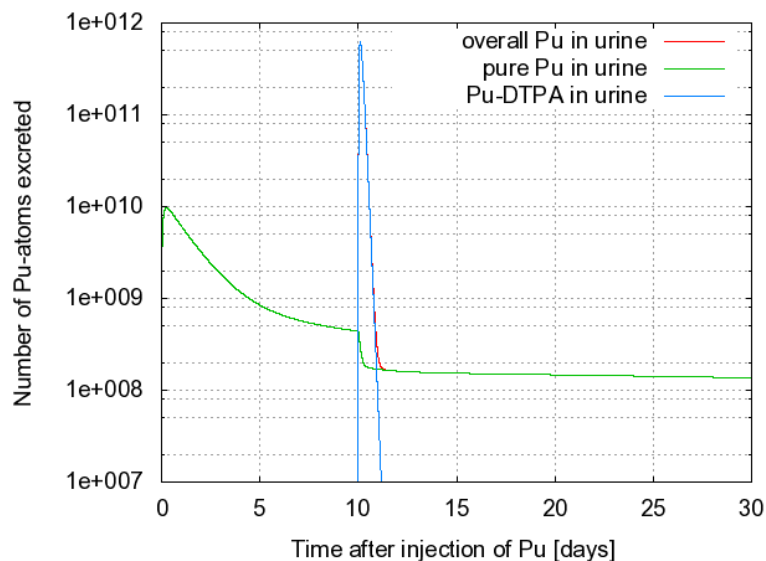


Abb. 6-37: Beispielrechnung mit dem CONRAD Modell

Eine Abhängigkeit von der DTPA-Dosierung wird in den Modellrechnungen nicht beobachtet. Tierexperimentelle Studien zeigen jedoch Hinweise auf eine solche Abhängigkeit. In der Auswertung realer Inkorporationsfälle zeigt sich, dass eine Beschreibung kurz hintereinander erfolgender DTPA-Therapien nicht möglich ist. Dieses ist durch die nahezu vollständige Entleerung des Wirkraums für DTPA (Bloodl und ST0) durch die erste Gabe zu erklären. Es steht dann nicht mehr genügend Plutonium für die Komplexierungsreaktion bzw. Ausscheidung zur Verfügung. Ein Wirkmechanismus für die Dekorporation des Originaldepots (z. B.: Lunge oder Wunde) bzw. der Organdepots (Leber und Skelett) muss daher im Modell ergänzt werden. Erste Ansätze, basierend auf einem physiologischen Verständnis des Extrazellularraums dazu wurden bereits diskutiert und werden in den folgenden Arbeiten der Gruppe untersucht. Eine umfangreiche Beschreibung der Arbeiten der DTPA-Gruppe wird im Abschlussbericht der CONRAD Gruppe im Jahr 2008 veröffentlicht.

6.4.2.2 Physiologie basierte biokinetische Modellierung

J. Schimmelpfeng

Physiologie basierte Kompartiment-Modelle gehen von den Abläufen im Körper aus und geben diese gewichtet wieder. Sie ähneln pharmakokinetischen Ansätzen, die aus den Teilprozessen Resorption, Verteilung und Eliminierung eines Arzneimittels im Körper bestehen. Im physiologischen Modell werden zunächst wesentliche stoffliche Interaktionen, z. B. zwischen inkorporiertem Plutonium, dem zu seiner Dekorporation therapeutisch eingesetzten Komplexbildner DTPA sowie körpereigenen Substanzen identifiziert, bewertet und von der Aufnahme in den Körper bis zur Ausscheidung modelliert. Bei diesen beiden Ansätzen ergeben sich die Transferaten von einem Kompartiment in ein anderes aus chemischen, physikalischen und physiologischen Eigenschaften der beteiligten Moleküle und deren Umgebung. Allgemein gilt, dass ein Modell nur so gut und so realistisch ist, wie die Annahmen auf denen es basiert. Um Wechselwirkungen und Verlauf von Plutonium und DTPA im Körper zu modellieren wurden folgende Annahmen vorausgesetzt:

Annahme 1: Plutonium kann durch Injektion, Ingestion, Wunde (Invulneration) oder Inhalation in den Körper aufgenommen werden. Es verteilt sich im Fallbeispiel USTUR Case 0679 [UST07] im wesentlichen auf die Lunge bei Inhalation (Tab. 6-9), das Blut, die Knochen, die Leber, Lymphknoten und Weichteilgewebe, wie z. B. die Muskeln und das Bindegewebe.

USTUR Case 0679	Aktivität, ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu		Aktivität, ²³⁸ Pu	
	Bq	% tualer Anteil	Bq	% tualer Anteil
Lunge	271	59	3,1	58
Lymphknoten	28,8	6	0,27	5
Leber	42,8	9	0,60	11
Skelett	103,8	23	1,20	23
Massive Weichteilgewebe	11,1	2	0,13	2
Muskel	7,1	1	0,07	1
Blut	-		-	
Summe	457,4	100 %	5,3	100 %

Tab. 6-9: Verteilung von ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu und ²³⁸Pu im Körper beim USTUR Fallbeispiel 0679

Annahme 2: Plutonium kommt in Verbindungen in den Oxidationsstufen +III bis +VII vor. Die stabilste Stufe ist +IV. In Säugetierflüssigkeiten wie Blutplasma, Lungenflüssigkeit, Gallensaft, Urin und in Gewebeflüssigkeiten dominiert Pu(IV), weil die meisten endogenen Liganden diesen oxidativen Zustand stabilisieren [ICR86].

Annahme 3: Die Chemie vierwertiger Plutoniumionen (Pu⁴⁺) weist eine starke Analogie zu der dreiwertiger Eisenionen (Fe³⁺) auf, d.h. beide Ionenarten besitzen ähnliche Stabilitätskonstanten (log K₁) mit verschiedenen Komplexbildnern [Ans07]. Eisen wird mit der Nahrung aufgenommen, gelangt über den Darm in das Blutplasma und wird dort an Transferrin gebunden ins Knochenmark, in die Leber und in die Milz transportiert [Sch75].

Annahme 4: Wesentliche Reaktionspartner im Blut und in der extrazellulären Flüssigkeit sind Plutonium(IV), Eisen(III), Transferrin und Citrat.

Transferrin ist ein Glykoprotein und das Transportprotein im Körper für Eisen. Es wird in der Leber gebildet [Psc02]. Erst durch die Bindung von Eisen an Transferrin ist eine bevorzugte Aufnahme von Eisen in die eisenverwertenden Zellen möglich, da diese über entsprechende Transferrin-Rezeptoren verfügen [Mut01]. Etwa ein Drittel des Transferrin liegt im Blutplasma eisengesättigt als Eisentransferrin vor.

Citrate sind Salze der Zitronensäure [Psy02]. Das Citrat anion wird im Citronensäurezyklus in den Mitochondrien von Körperzellen gebildet [Kar77] und ist im Stoffwechsel der Kohlenhydrate, Proteine und Fette im Körper wichtig. Im Urin ausgeschiedenes Citrat stammt aus diesem Stoffwechsel ([Citratzyklus](#)) oder wurde mit der Nahrung aufgenommen.

Annahme 5: DTPA ist ein Komplexbildner, der verschiedene Metalle mit unterschiedlichen Komplexbildungskonstanten bindet. Zu diesen Metallen gehört auch radioaktives Plutonium. Es wird von DTPA gebunden und aus dem menschlichen Körper ausgeschieden. DTPA wird zur Dekorporationstherapie nach Inkorporation von Plutonium eingesetzt [Cat68].

Annahme 6: DTPA bindet mit steigender Stabilitätskonstante (log K₁ der 1:1 Chelate): Mg²⁺ < Ca²⁺ < Mn²⁺ < Fe²⁺ < Zn²⁺ < Pb²⁺ ≤ Co²⁺ ≤ Cd²⁺ < Ni²⁺ < Cu²⁺ < Pu⁴⁺ < Hg²⁺ < Fe³⁺ [And59, Vol78] und beeinflusst dadurch mehrere chemische Gleichgewichtssysteme im Körper .

Annahme 7: Der Verteilungsraum von DTPA entspricht dem des extrazellulären Wassers. Es setzt sich zusammen aus interstitiellem Wasser (73 %), Blutplasmawasser (19 %) und transzellulärem Wasser (8 %) [Psc02].

Der Stofftransfer in der extrazellulären Flüssigkeit ist in Abb. 6-38 dargestellt. Blutgefäße versorgen über fein verzweigte Kapillaren Zellen in Geweben mit Nährstoffen. Das Interstitium ist der Zwischenraum zwischen den organotypischen Geweben und beinhaltet Bindegewebe, Gefäße und Nerven [Psc02]. Das Lymphsystem transportiert überschüssiges Wasser aus dem Interstitium in die Blutgefäße der oberen Hohlvene. Die Lymphe versorgt Gewebe mit Nahrungsstoffen und entfernt nicht verwertbare Stoffe. Sie entsteht durch Austritt von Blutplasma aus den Blutkapillaren ins Gewebe (ca. 0,1 l/h), fließt in den Gewebespalten und wird durch Lymphgefäße über die regionalen Lymphknoten wieder dem Blutkreislauf zugeführt [Psc02]. Das zirkulierende Volumen ist abhängig von der Höhe des Kapillarblutdrucks und dem Aktivitätsgrad der Organe (besonders der Muskulatur). Durch Interzellularspalten zwischen den Epithelschichten der Lymphkapillaren ist der Durchtritt von Makromolekülen bis zu einem MW von 40.000 möglich [Psc02]. Im Lymphsystem werden pro Tag etwa 2 Liter Lymphflüssigkeit zurück ins Blut transportiert [Guy06].

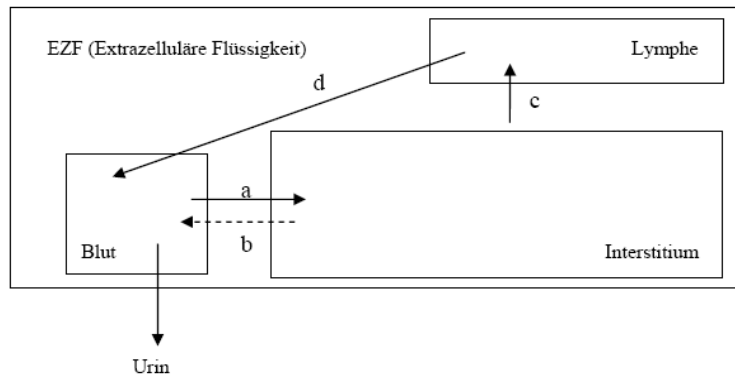


Abb. 6-38: Vereinfachtes Modell des Stofftransfers innerhalb der extrazellulären Flüssigkeit im menschlichen Körper. Transfer durch (a) hydrostatischen Druck, ca. 0,1 l/h, (b) osmotischen Druck, (c) durch physikalischer Druck, abh. von dem Aktivitätsgrad der Organe und (d) ca. 2 l/Tag

Bei einem Patienten wurde in den Lymphknoten 5 – 6 % des verbliebenen Plutonium gefunden (UST07, Tab. 6-9). Nach der Aufnahme von zu modellierenden Substanzen in den Körper spielt die Bindung an Eiweiße eine wesentliche Rolle [Mut01], insbesondere an Plasma-, Gewebe- und Erythrozytenproteine, letztere befinden sich auf der Oberfläche der roten Blutzellen (Ery.). Ausgehend von den Annahmen oben und von Literaturangaben zur Verteilung der Moleküle und Ionen (Leg05, UST07, Fos97, Psy02) ergibt sich für den extrazellulären Raum folgende schematische Darstellung (Abb. 6-39). Die Lymphkapillaren sind als separates Kompartiment dargestellt und enthalten voraussichtlich kein Transferrin.

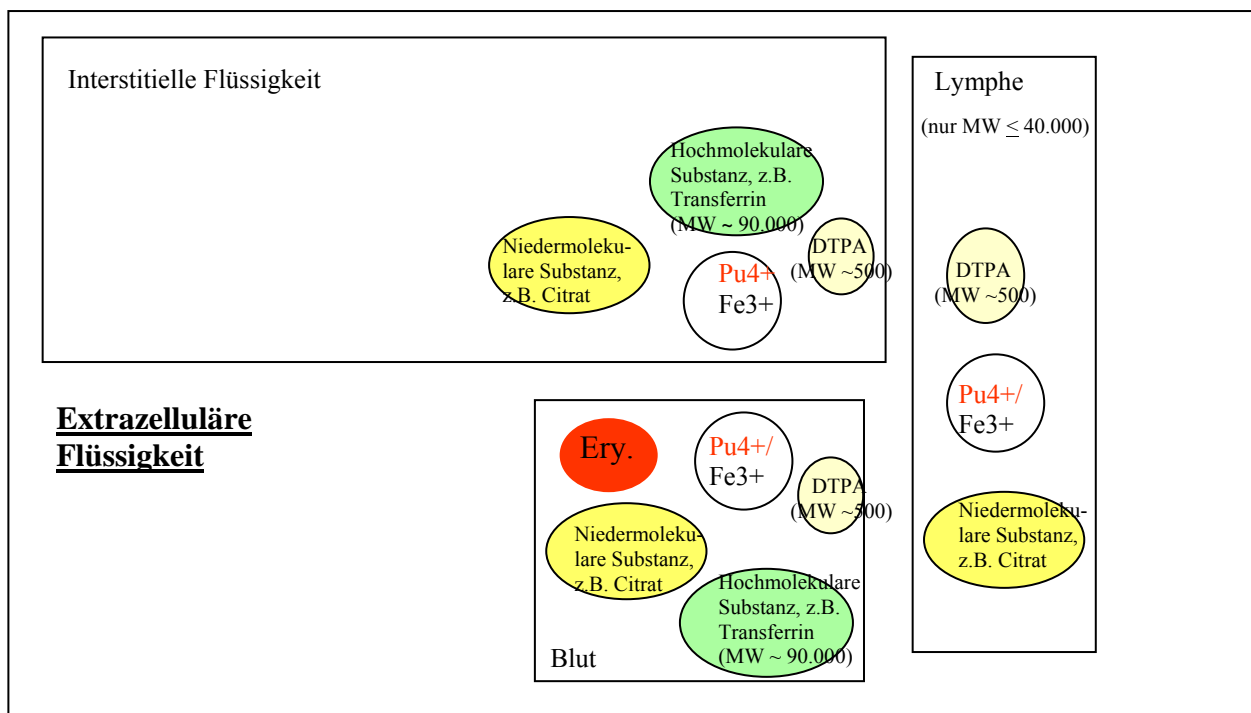


Abb. 6-39: Vereinfachtes schematisches Modell zur Abschätzung der Kompartimente mit Wechselwirkungen von Plutonium und DTPA und dort vorhandenen Konkurrenz-molekülen

Als nächstes soll der Verlauf der zu modellierenden Substanzen von der Aufnahme in den Körper bis zur Ausscheidung physiologisch beschrieben werden. Unabhängig von der Art der Aufnahme gelangt Plutonium sehr schnell in den Blutkreislauf. Von dort aus gelangt es relativ

schnell in Knochen, Leber und Weichteilgewebe, wie z. B. die Muskeln und das Bindegewebe [Leg05]. Bei einem ersten physiologischen Körperkompartiment-Modell zur Biokinetik von Plutonium und DTPA werden folgende Vereinfachungen gemacht. Die Lymphe wird ins Interstitium integriert, da aus der interstitiellen Flüssigkeit ebenfalls Stoffe zurück in den Blutkreislauf gelangen. Die Rolle der roten Blutkörperchen und anderer Zellen wird zu einem späteren Zeitpunkt genauer betrachtet werden.

Annahme 8: Zwischen Fe^{3+} und Al^{3+} (Aluminium) Ionen besteht eine chemische Ähnlichkeit [Bec97] in Bezug auf ein äquivalentes Bindungsverhalten aufgrund ähnlicher Ionenradien [Mar86]. Daher kann ein pharmakokinetisches Modell für Al^{3+} [Bec97] modifiziert werden, um darin die Wechselwirkungen der Moleküle und Ionen Pu^{4+} , Fe^{3+} , DTPA, Transferrin und Citrat mit Focus auf der extrazellulären Flüssigkeit zu modellieren.

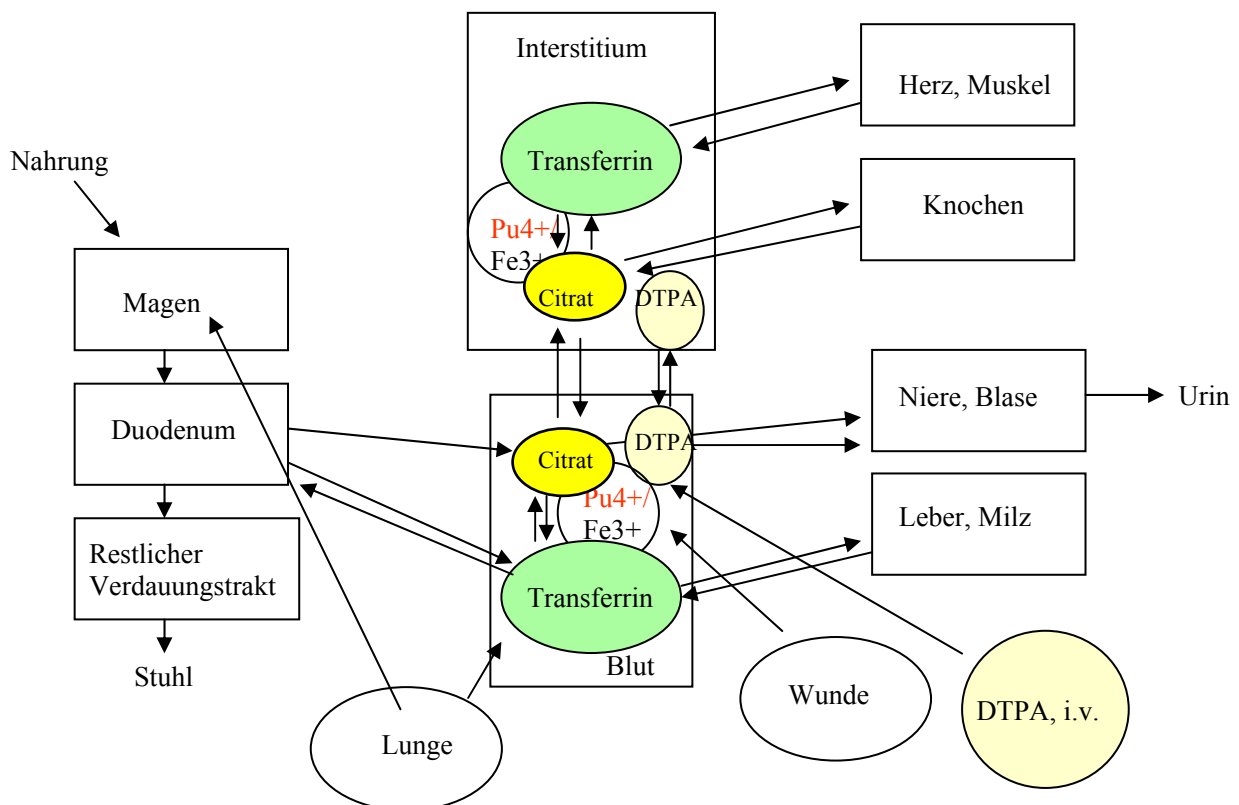


Abb. 6-40: Vereinfachtes Vereinfachtes Kompartiment Modell für die Biokinetik von Plutonium und DTPA im Körper, modifiziert nach [Bec97]

Aus dem vereinfachten Interaktionsmodell in Abb. 6-40 wird sichtbar, dass hochmolekulares Transferrin Plutoniumionen (Pu^{4+}) ähnlich wie Fe^{3+} Ionen durch den Körper transportieren und zu bestimmten Organen und Zellen bringen kann. Alternativ kann Plutonium an Citrat gebunden sein und direkt in den Urin ausgeschieden werden [Pop75]. DTPA wirkt im wesentlichen im Blutplasma und im Interstitium. Betrachtet man die Wechselwirkungen zwischen Plutonium, Eisen und DTPA und deren Stärke, dann bindet DTPA Fe^{3+} Ionen am stärksten. Plutonium und Eisen sind zunächst im Blut und Interstitium an Transferrin gebunden. Unter welchen Umständen kann dann das DTPA dort Plutonium einfangen und binden? Wie an dieser Stelle zu erkennen ist, gibt es noch viele offenen Detailfragen.

Annahme 9: DTPA kann unter bestimmten Umständen Plutonium dem Transferrin nicht entreißen. D.M Taylor berichtete 1998 in seiner Publikation, dass der Komplex Pu-Transferrin lange stabil ist. Obwohl DTPA ein starker Pu-Chelator ist, soll für die Entfernung signifikanter Mengen an Plutonium aus der Verbindung mit Transferrin ein 200-facher Überschuss an DTPA er-

forderlich sein [Zak88]. Der existiert jedoch bei einer Gabe von 1 g Ca- oder Zn-DTPA bei einer Person mit 70 kg Körpergewicht im Blut nicht (Tab. 6-10).

Molekül	MW (g/mol)	Konzentration im Blut	Menge bei 70 kg Körpergewicht	Konzentration in 5,5 l Blut bei 70 kg Körpergewicht	DTPA-Überschuss
Transferrin (Pschyrembel, 2002)	Ca. 90.000	2-4 g/l, davon ca. 1/3 mit Fe ³⁺ -gesättigt		0,122 mmol - 0,244 mmol	
Transferrin human (Taylor, 1998)		30 µmol/l		0,165 mmol	
Zn-DTPA = C ₁₄ H ₁₈ ZnN ₃ Na ₃ O ₁₀ (Fa. Heyl)	522,66	0	Therapie mit 1 g	1,913 mmol	= 11,6x
Ca-DTPA = C ₁₄ H ₁₈ CaN ₃ Na ₃ O ₁₀ (Fa. Heyl)	497,36	0	Therapie mit 1 g	2,011 mmol	= 12,2x

Tab. 6-10: Abschätzung der im Blut vorhandenen Konzentrationen an DTPA und Transferrin

Es ist möglich, dass Citrat bei pH 7,5 Plutoniumionen aus seiner Bindung mit Proteinen entfernt [Sto59]. Außerdem wurde in Abwesenheit von DTPA Plutonium im Urin mit Citrat assoziiert nachgewiesen [Pop75], was auch für die Reversibilität der Pu(IV)-Transferrin Bindung spricht. Pu-Transferrin wird nicht über die Niere in den Urin ausgeschieden, denn der Komplex ist mit einem MW von 90 000 dafür zu groß. Durch die glomeruläre Filtration in der Niere werden nur Moleküle bis zu einem Molekulargewicht (MW) von 5000 filtriert und ausgeschieden, zu einem geringeren Teil auch Moleküle bis zu 50 000 [Mut01].

Mit dem physiologischem Wissen können wichtige Kompartimente des Körpers und die darin stattfindenden Reaktionen in Anlehnung an bereits vorhandene biokinetische Modelle für Plutonium [Leg05] und DTPA [Sta83] realitätsnah und für dosimetrische und therapeutische Zwecke interpretiert und optimiert werden. Es ist z. B. möglich, das biokinetische 14-C-DTPA Modell von Stather et al. physiologisch zu interpretieren (Abb. 6-41 und Abb. 6-42). Bei Stathers EZF-Kompartiment (Extrazelluläre Flüssigkeit) handelt es sich sehr wahrscheinlich um das Interstitium mit dem Lymphsystem.

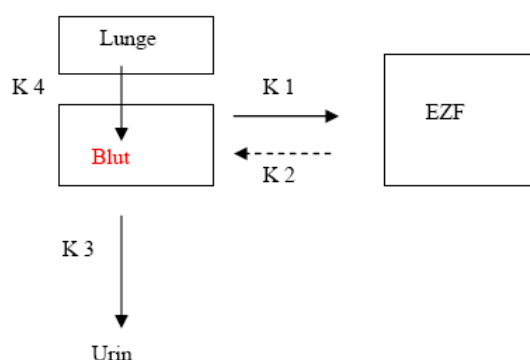


Abb. 6-41: Vereinfachtes biokinetisches Modell für 14C-DTPA im menschlichen Körper nach Stather et al. (1983)

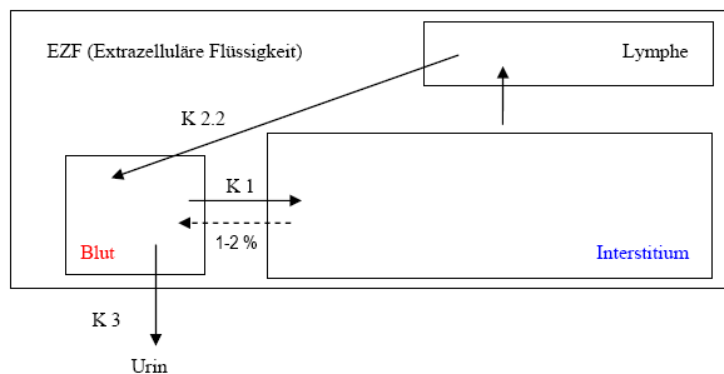


Abb. 6-42: Vereinfachtes biokinetisches Modell für ¹⁴C-DTPA im menschlichen Körper aus physiologischer Sicht.

Diese Interpretation wird unterstützt durch Angaben zu Körperwasser und extrazellulärem Wasser aus der ICRP Publikation 23 [ICR75], in der das Kompartiment Plasma und das Kompartiment „Interstitial lymph“ als Bestandteile der extrazellulären Flüssigkeit (Tab. 6-11) genannt werden.

Körperwasser	ml/kg Körpergewicht	% des Gesamtkörperwassers (GKW)	% des extrazellulären Wassers (EZW)
• (Blut)Plasma W.	41	7	5,8
• Interstitiell -, Lymph- W.	121	20	46,5
• Dichtes Bindegewebs- und Knorpel-W.	41	7	15,8
• Nicht verfügbares Knochenwasser	41	7	15,8
• Transzelluläres W.	15	2,5	5,8
• Intraluminal Gastrointestinales W.	8,4	1,4	3,2
Summe EZW	260	43	100
Summe Intrazelluläres W.	340	57	
Summe GKW	600	100	

Tab. 6-11: Werte für den Reference Man (1975), Daten zu Körperwasser und EZW aus der ICRP Publikation 23

Insgesamt variieren die Angaben zu den prozentualen Anteilen der verschiedenen Körperflüssigkeiten in der Literatur. Körperwasser besteht laut Pschyrembel (2002) zu 63 % aus intrazellulärem Wasser und zu 37 % aus extrazellulärem Wasser. Die extrazelluläre Flüssigkeit besteht zum einen aus dem die Gewebszellen umgebenden interstitiellen Wasser (27 % des GKW, bzw. 73 % der EZF) und steht in ständigem Austausch mit dem Plasmawasser des Blutes (7 % des GKW oder 19 % der EZF). Dritter Bestandteil der EZF ist das transzelluläre Wasser (3 % des GKW, bzw. 8 % der EZF), z. B. Absonderungen des Magen-Darm-Traktes [Psc02].

Es ist auch möglich, das biokinetische Kompartiment Modell für Plutonium [Leg05] von Leggett et al. physiologisch zu interpretieren. Dort findet nach einer initialen Eingabe eine rasche Verteilung zwischen Blut 1 (70 %) und Blut 2 (30 %) statt. Danach gelangt Plutonium in kurzer Zeit vom Kompartiment Blut 1 zu den trabekulären Knochenoberflächen und zum Kompartiment

Leber 0. Von Blut 2 gelangt Plutonium im Leggett Modell rasch in das Kompartiment Blut 1 und in ST0 (andere Weichteilgewebe, schneller Durchsatz). Wie ist das nun physiologisch zu verstehen? Leggetts Kompartiment Blut 1 könnte das Blutplasma darstellen, weil dieses zu den Kompartimenten Niere, Blase, Leber 0, Skelett, den Weichteilgeweben, Gonaden und zum Verdauungstrakt führt. Blut 2 könnte das Interstitium sein. Es ist bei Leggett et al. mit dem Blutplasma (Blut 1), den Weichteilgeweben, der Blase und dem Rückfluss aus Knochenmark, Leber etc. verbunden. Hier besteht aus physiologischer Sicht Optimierungsbedarf.

Weitere Reaktionen von Pu und DTPA im Körper, z. B. in den Geweben und Zellen, sollen nun im Detail ermittelt, bewertet und physiologisch modelliert werden, um damit die vorhandenen biokinetischen Modelle realitätsnah für dosimetrische und therapeutische Zwecke zu optimieren.

6.4.2.3 Untersuchung der inter-individuellen Variation von biokinetischen Modellen

W. Klein

Die zur Beschreibung des menschlichen Stoffwechsels eingesetzten biokinetischen Modelle können im besten Fall die durchschnittlichen Umverteilungsvorgänge im Körper wiedergeben. Der Metabolismus einer realen Person unterscheidet sich jedoch mitunter stark von dem modellierten Standardmenschen. Eine individuelle Anpassung des Modells wäre wünschenswert, lässt sich aber nicht umsetzen, da man die meisten Modellparameter an einer Person weder direkt beobachten, noch auf sie schließen kann. Um die durch diese inter-individuellen Variationen entstehenden Unsicherheiten auf Ausscheidungs- und Dosisabschätzungen beurteilen zu können, wurden Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt. In Abb. 6-43 und Abb. 6-44 sind die die vom Modell vorhergesagten Ausscheidungsverläufe von inkorporiertem Plutonium mit dem Stuhl und Urin dargestellt. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegen die Plutoniumexkretionen innerhalb des blau eingezeichneten Vertrauensbereichs. Neben der reinen Fehlerbetrachtung stellt sich die Frage, ob die aus den Simulationen gewonnenen Informationen zu einer Verbesserung der Abschätzung des Intakes und damit auch der Dosisabschätzung genutzt werden können.

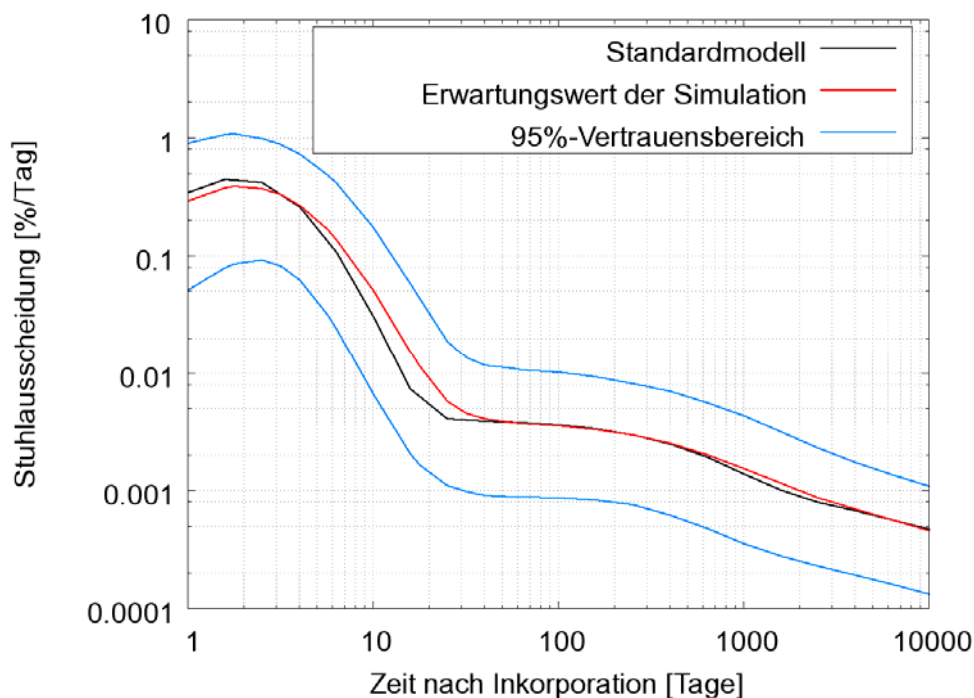


Abb. 6-43: Zeitlicher Verlauf der Pu-Ausscheidung und des 95%-Vertrauensbereichs mit dem Stuhl

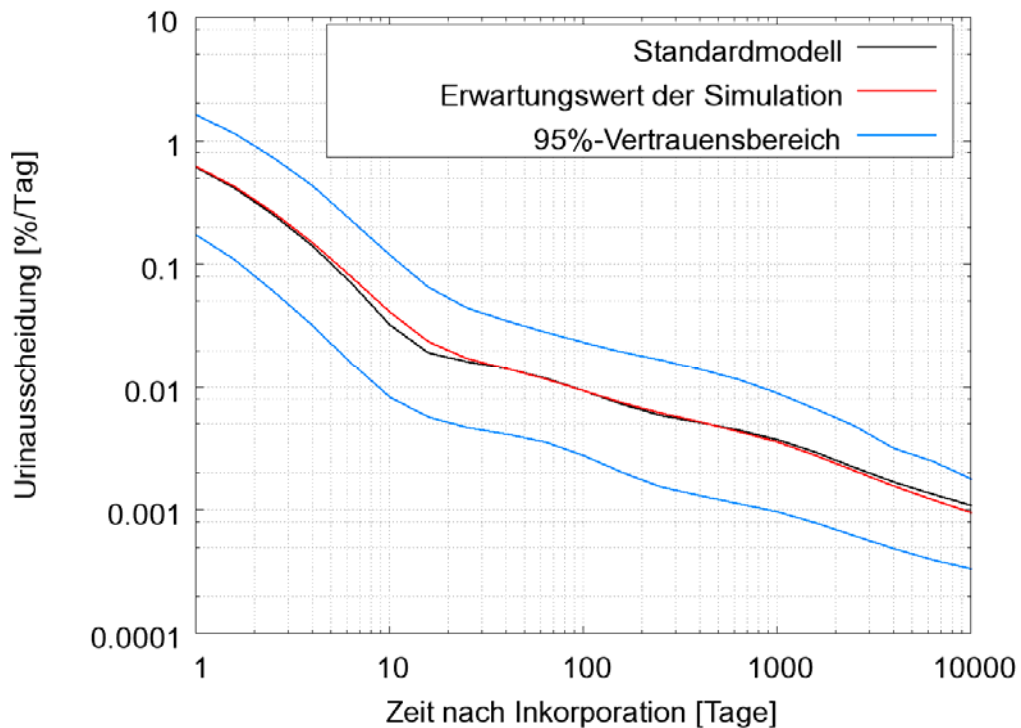


Abb. 6-44: Zeitlicher Verlauf der Pu-Ausscheidung und des 95%-Vertrauensbereichs mit dem Urin

An den beiden Abbildungen lässt sich erkennen, dass die Mittelwerte der mit Monte-Carlo-Simulationen erzeugten Verteilungen teilweise deutlich von den Werten des Standardmodells für die tägliche Ausscheidung abweichen. Die im Mittel größten Unterschiede bei der Exkretion sind zwischen dem 6. und dem 30. Tag zu erwarten. Oft liegen Messwerte zur Dosisbestimmung nach einer Inkorporation in diesem Zeitabschnitt. Eine Berücksichtigung der erzeugten Verteilungen würde somit zu einer Verbesserung der Intake- und damit auch der Dosisabschätzung führen.

Zur Berechnung des Intakes werden die Ausscheidungsprodukte Stuhl und Urin der betroffenen Person gesammelt, radio-chemisch analysiert und die dort gefundenen Aktivitäten mit den nach dem Standardmodell zu erwartenden Aktivitäten bei der Aufnahme von 1Bq verglichen. In der Regel lässt sich kein einheitlicher Faktor finden, der dazu führt, dass alle Messwerte der zu unterschiedlichen Zeiten gefundenen Aktivitäten in Stuhl und Urin mit den Modellwerten übereinstimmen. Um trotzdem eine Abschätzung vornehmen zu können, minimiert man meist die Summe der Abstandsquadrate der logarithmierten Werte. Der Logarithmus führt dazu, dass Werte unterschiedlicher Größenordnung eine angemessene Bedeutung in der Abschätzung finden und nicht nur die größten Werte ausschlaggebend sind. Weichen die Werte des verwendeten Modell von den Mittelwerten der zu diesem Zeitpunkt beobachteten Verteilung der Ausscheidungsraten ab, so führt dies bei der Berechnung des Intakes zu einer systematischen Unter- bzw. Überschätzung. Die Schätzung ist nicht mehr erwartungstreu.

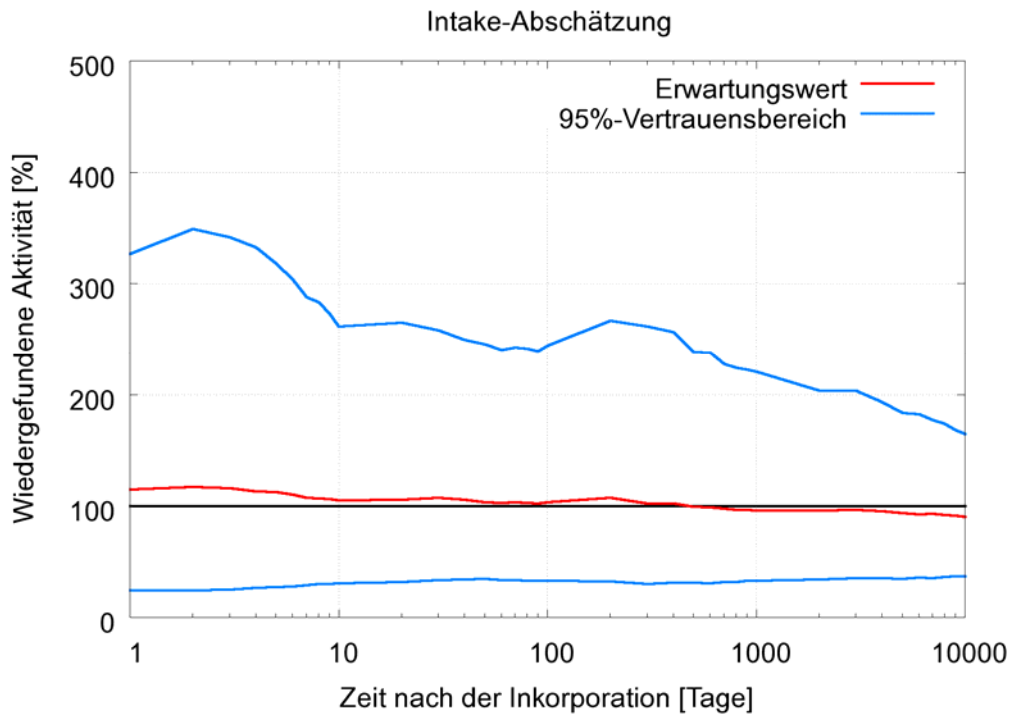


Abb. 6-45: Intake-Abschätzung mit den Werten des Standardmodells als Bezugsgröße

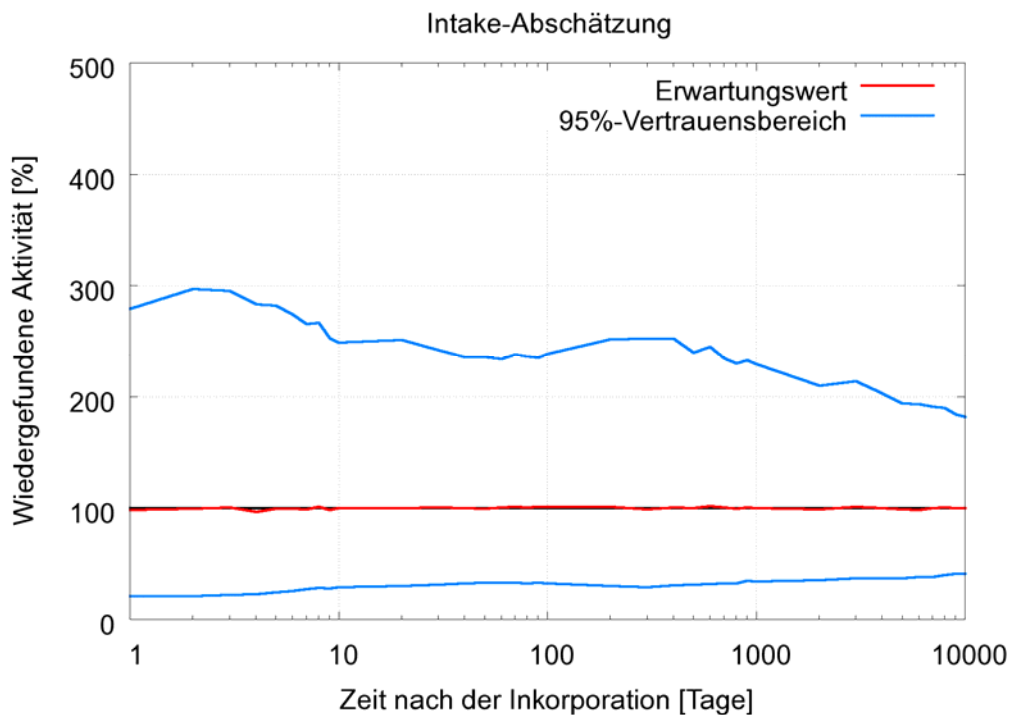


Abb. 6-46: Intake-Abschätzung mit den Mittelwerten der Verteilungen des Modells als Bezugsgröße

Diese Verzerrung kann verhindert werden, wenn bei der Berechnung des Intakes nicht mehr die Werte des Modells für den Standardmenschen verwendet werden, sondern die Mittelwerte der zu den Messzeitpunkten erwarteten Verteilungen.

Abb. 6-45 und Abb. 6-46 zeigen den Anteil der wiedergefundenen Aktivität für Messungen an jeweils 10 aufeinanderfolgenden Tagen unter Verwendung der Modellwerte sowie unter Verwendung der Mittelwerte. Durch den Bezug auf die Mittelwerte wird der Schätzer zu allen Zeiten erwartungstreu. Die Streuung des abgeschätzten Intakes kann dadurch in begrenztem Maße verkleinert werden. Will man die Genauigkeit erhöhen, d. h. die Streuung noch weiter verkleinern muss man die verschiedenen Messwerte in Abhängigkeit ihrer Unsicherheit gewichten. Ist die Unsicherheit zu den verschiedenen Messzeiten aber quasi konstant kann eine gewichtete Abschätzung das Ergebnis nur geringfügig verbessern. Simulierte Intakeberechnungen mit gewichteten Messwerten haben für verschiedene Wichtungsfaktoren keine deutliche Verringerung der Breite des Vertrauensbandes bewirkt, allerdings werden selbst bei gewichteten Abschätzverfahren noch nicht alle aus den Verteilungen ablesbaren Informationen verwendet, sondern nur der Mittelwert und eine die Unsicherheit beschreibende Größe wie z. B. die Varianz. Sollen alle aus den Monte-Carlo-Simulationen gewonnenen Erkenntnisse restlos verwertet werden, muss für die Intakeabschätzung auf Bayes-Methoden zurückgegriffen werden. Dazu werden die Messwerte zu den verschiedenen Messzeitpunkten mit den Verteilungen für die Ausscheidung verglichen. Geschätzt wird der Intake, bei dem die gefundenen Abweichungen von den Erwartungswerten der Verteilungen insgesamt am wahrscheinlichsten sind. Wie sich in Abb. 6-47 sehen lässt, ist die Varianz bei der Intake-Abschätzung mittels Bayes-Methoden geringer, der ermittelte Wert liegt in der Regel näher an der inkorporierten Aktivität.

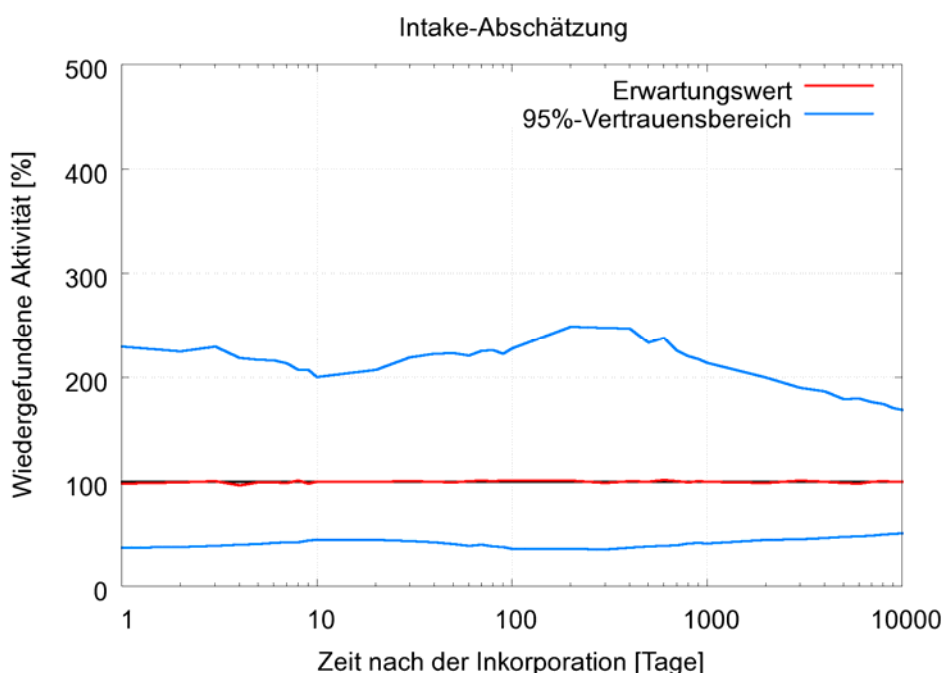


Abb. 6-47: Intake-Abschätzung mit Bayes-Methoden

Bei den bisherigen Untersuchungen wurde von unkorrelierten Abweichungen der Transferparameter eines Individuums vom Standardmodell ausgegangen. Im Allgemeinen kann man aber nicht den Spezialfall unkorrelierter Transferkoeffizienten annehmen, sondern muss davon ausgehen, dass sich die verschiedenen Stoffwechselforgänge im Körper oder zumindest innerhalb eines Organs gegenseitig beeinflussen. Leider liegen sehr wenige Messdaten zu der Verteilung von Plutonium im Körper vor und nicht alle Metabolismusvorgänge an denen das Nuklid teilnimmt, sind im einzelnen bekannt und quantitativ abschätzbar. Die aufgestellten Modelle können daher nicht alle Stoffwechselprozesse an denen Plutonium beteiligt ist wiedergeben, sondern müssen sich häufig darauf beschränken die Umverteilungswirkung vieler Prozesse zusammenfassend zu beschreiben und weisen selbst in dieser Funktion noch große Unsicherheiten auf.

Korrelationen der Parameter sind bei der derzeitigen Datenlage für das systemische Modell von Plutonium nicht bestimmbar, aber lassen sich eventuell für generische Modelle abschätzen, die nuklidunabhängig gelten und die Umverteilungsvorgänge aufgrund von Mittransport mit Flüssigkeitsströmen und anderen stoffunabhängigen Transporten für Teilbereiche des Körpers, zum Beispiel den Atemtrakt, modellieren.

Die generischen Modelle bestehen meist aus einer Vielzahl von Kompartimenten um nicht nur die resultierenden Absorptionsraten in die systemischen Kompartimente zu beschreiben, sondern auch die physiologischen Vorgänge wiederzugeben wie z. B. Reinigung der Atemwege durch das Flimmerepithel mit anschließendem Abschlucken. Bei entsprechendem Vorwissen über die Inkorporation des Radionuklids (Korngröße der inhalierten Stäube, chemische Verbindung, Löslichkeit,...) lassen sich die Transferratesätze an den entsprechenden Vorfall anpassen. Zumindest das Lungenmodell ließe sich relativ gut noch weiter auf eine Person anpassen, da sich respiratorisch individuell spezifische Parameter wie Atemfrequenz, Totraumvolumen, Atemminutenvolumen, ... durch medizinische Standarduntersuchungen bestimmen lassen. Zur Untersuchung der Auswirkungen inter-individueller Variationen müsste der Zusammenhang der respiratorischen Parameter mit den Modellparametern und deren Verteilung in der Bevölkerung bestimmt werden. Mit Sicherheit lassen sich bei der großen Anzahl an Kompartimenten (39) des Modells nicht alle Beziehungen zwischen den Parametern restlos klären. Entscheidend für eine erfolgreiche Untersuchung ist jedoch, ob dies wenigstens für alle Parameter möglich ist, die maßgebenden Einfluss auf die beobachtbaren Größen, die Ausscheidung mit dem Urin und Stuhl, haben. Um die empfindlichsten Parameter hinsichtlich der Zeitverläufe der Urin- und Stuhlexkretion zu bestimmen wurde eine Sensitivitätsanalyse für Atemtrakt- und systemisches Modell durchgeführt. Dazu wurden Monte-Carlo-Simulationen gemacht, bei denen jeweils nur eine Transferrate des Modells variiert wurde. Der Einfluss einer Veränderung auf die Exkretion wurde untersucht, indem die zeitlichen Ausscheidungsverläufe des Radionuklids mit Urin und Stuhl der variierten Modelle mit dem Standardmodell verglichen wurde. Es hat sich dabei gezeigt, dass die Modelle sehr empfindlich auf Änderungen einiger wenige Transferkoeffizienten reagieren und diese Sensitivität stark zeitabhängig ist. Von den insgesamt 107 Transferkoeffizienten des Modells haben 20 einen deutlichen Einfluss (>5 %) und von diesen wiederum 6 maßgebenden Einfluss (<20 %) (Abb. 6-48).

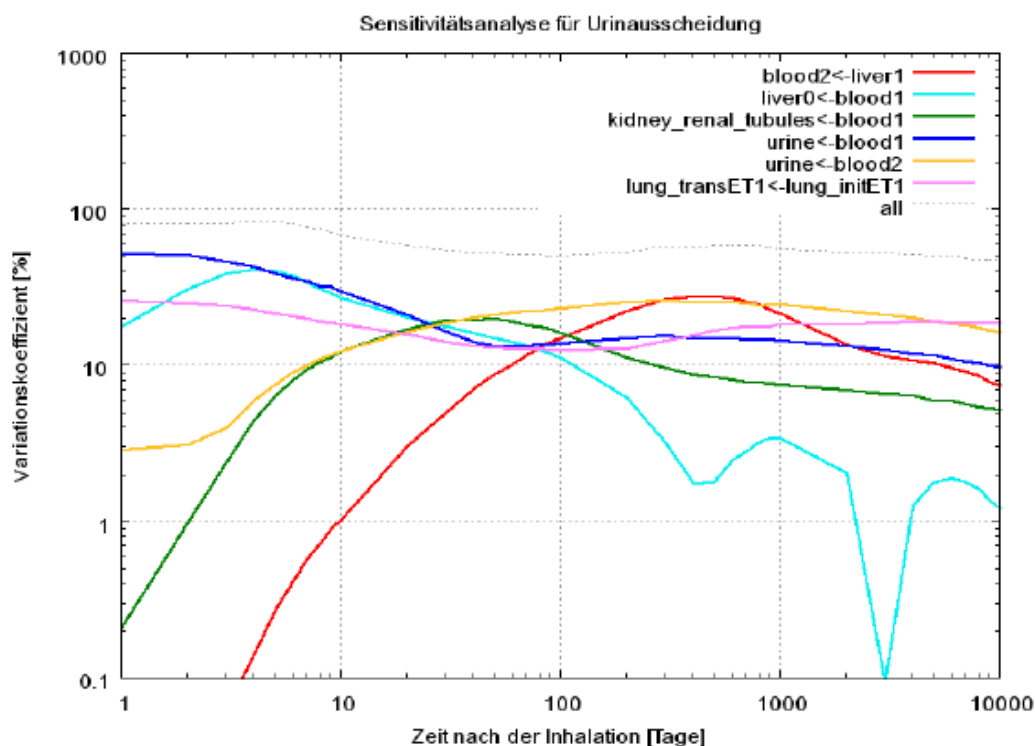


Abb. 6-48: Sensitivitätsanalyse für Inhalation für die Urinausscheidung

Eine Besonderheit zeigt die Empfindlichkeit der Ausscheidung mit dem Urin bezüglich der Transferrate vom „Blut 1“- ins „Leber 0“-Kompartiment. Die Urinausscheidung reagiert in einem großen Zeitbereich sehr empfindlich auf Veränderungen dieses Kompartiments, scheint aber zu bestimmten Zeiten (in den Bereichen um 500 Tage und 3000 Tage) wiederum plötzlich sehr unempfindlich zu sein. Betrachtet man Urinausscheidungskurven (Abb. 6-49) des Modells für unterschiedliche Werte für diesen Transferkoeffizienten lässt sich ein mathematischer Grund unschwer erkennen: die Kurven der Kurvenschar schneiden sich in diesen beiden Zeitbereichen. Können diese Sensitivitätsminima auch physiologisch erklärt werden oder handelt es sich dabei nur um einen mathematischen Effekt? Kann aus diesem Sensitivitätsmuster abgeleitet werden, dass diese Punkte optimale Messzeitpunkte für Urinalysen wären? Überträgt man die Fragestellung in ein Experiment erkennt man, dass es sich um eine rein theoretische Überlegung handelt. Man müsste eine Gruppe finden, deren Stoffwechsel sich bis auf diesen einen Stofftransfer vollkommen gleichen. Werden hingegen alle Transferraten gleichzeitig variiert, ist die relative Standardabweichung nahezu konstant. In dieser Gruppe käme man jedoch zu dem Schluss, man müsse zu diesen Zeitpunkten Analysen durchführen. Jedoch lässt sich weder so eine Gruppe finden, noch bestimmen, noch bleiben die metabolischen Parameter eines Individuums über diesen Zeitraum konstant, vielmehr sind die Transferraten einer Person mit hoher Wahrscheinlichkeit großen zeitlichen Schwankungen unterworfen. Es ist zu erwarten, dass es sowohl Tagesverläufe als auch längerfristige Driften für die verschiedenen Transferkomponenten gibt und sie sich zudem gegenseitig beeinflussen. Die Modelle können und wollen nicht alle Einzelheiten des individuellen Metabolismus beschreiben. Sie dienen lediglich dazu eine im Allgemeinen möglichst gute Risikoabschätzung nach Inkorporation von Radionukliden zu liefern.

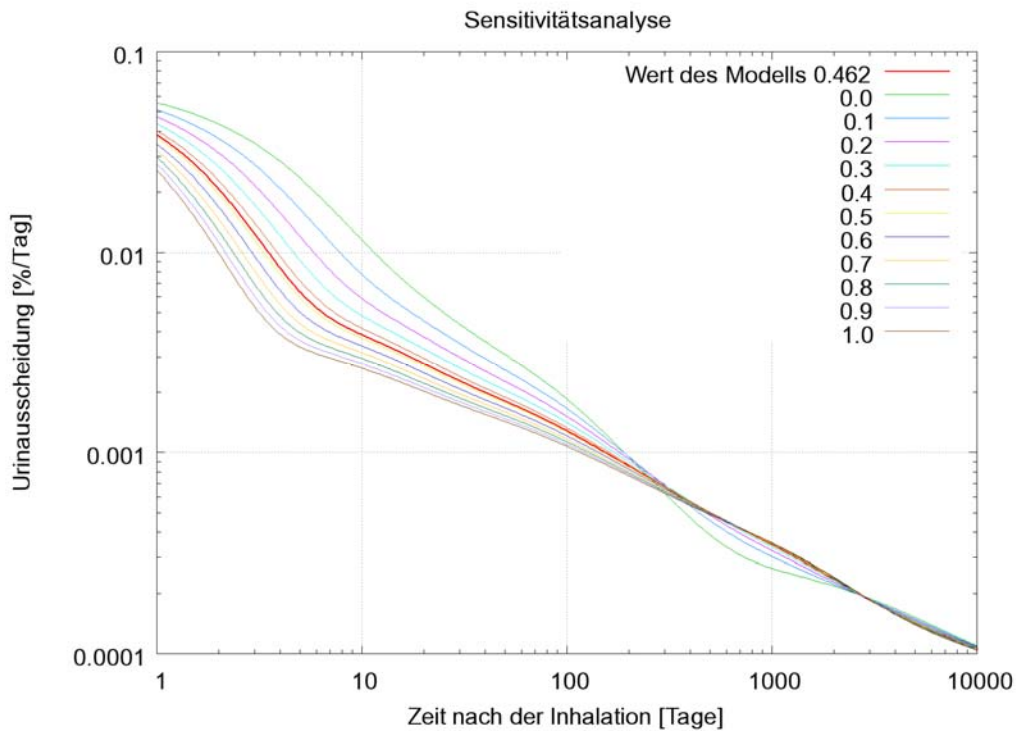


Abb. 6-49: Verlauf der Ausscheidung mit dem Urin bei unterschiedlichen Transferraten „Blut1 → Leber0“

Eine Verbesserung der Risikoabschätzung kann durch eine individuelle Anpassung des Modells erreicht werden. Um festzustellen wo dies möglich ist, sollen Korrelationen zwischen medizinisch messbaren physiologischen Parametern mit den Modellparametern bestimmt werden. Diese Verknüpfung zwischen Modell und Physiologie dient zusätzlich zur Legitimation der immer komplexer werdenden Modelle. Eng mit dieser Aufgabenstellung verbunden ist die Bestimmung und quantitative Abschätzung der Korrelationen der unterschiedlichen Transferraten im Modell. Können Korrelationskoeffizienten angegeben werden ist eine genauere Unsicherheitsbetrachtung durch Monte-Carlo-Simulationen mit korrelierten Transferraten möglich.

6.5 Natürliche Strahlenexposition, Strahlenexposition bei „Arbeiten“

6.5.1 Routinemäßige Ermittlungen der Radonexposition mit Kernspurverfahren

M. Schaller, S. Nagels

Zur Überwachung der Radonkonzentration in der Luft werden im Forschungszentrum Karlsruhe entwickelte passive Radondiffusionskammern (Radonexposimeter) mit Kernspurätzdetektoren angeboten. Zusätzlich erfolgt die Bereitstellung von Kernspurdetektoren für Kunden, die die Auswertung der Radonexposimeter selbst durchführen.

Im Jahr 2007 wurden, außerhalb des Radonprojekts für Wasserwerke (s. Kap. 6.5.3), 506 Radonexposimeter und 2467 Kernspurfolien ausgewertet.

6.5.2 Teilnahme an der Vergleichsbestrahlung des BfS

Voraussetzung für die Zulassung als Radonmessstelle nach der "Richtlinie für die Überwachung der Strahlenexposition bei Arbeiten nach Teil 3 Kapitel 2 der Strahlenschutzverordnung" ist die jährliche Teilnahme an der seit 2003 vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) veranstalteten

Vergleichsprüfung. Im Jahr 2007 haben wir mit zwei verschiedenen Sets teilgenommen. Die Ergebnisse unserer Auswertung im Jahr 2007 sind in Tab. 6-12 wiedergegeben.

Set1:

$P_{Rn, Ref} [kBq \cdot h \cdot m^{-3}]$	$U_{Rn, Ref}$ in %	$P_{Rn, FZK} [kBq \cdot h \cdot m^{-3}]$	rel. Messabweichung zu $P_{Rn, Ref}$ [%]
220	12	180,6	-17,9
799	7	784,3	-1,8
1993	7	1982,4	-0,5
2236	7	2191,4	-2,0

Set 2:

$P_{Rn, Ref} [kBq \cdot h \cdot m^{-3}]$	$U_{Rn, Ref}$ in %	$P_{Rn, FZK} [kBq \cdot h \cdot m^{-3}]$	rel. Messabweichung zu $P_{Rn, Ref}$ [%]
220	12	202,1	-8,1
799	7	791,7	-0,9
1993	7	2071,1	3,9
2236	7	2322,9	3,9

Tab. 6-12: Ergebnisse des Radonlabors bei der BfS Radonvergleichsbestrahlung 2007

6.5.3 Radon in Wasserwerken, BWPlus Projekt

S. Nagels, S. Ugi

Die Inhalation kurzlebiger Radon-Zerfallsprodukte ist eine wesentliche Quelle für eine berufliche Strahlenexposition z. B. in Wasserwerken.

Ende 2005 wurde ein Vorhaben begonnen, um möglichst flächendeckend Betreiber von Wasserwerken zu informieren. In Form von begleitenden Messungen in Baden-Württemberg soll ein Überblick über die tatsächliche Strahlenexposition von Mitarbeitern gewonnen werden und, sofern erforderlich und möglich, Vorschläge für einfache aber wirkungsvolle Maßnahmen zur Reduzierung der Strahlenexposition gemacht werden. Dieses Vorhaben wird über den Projektträger BWPlus im Auftrag des Landes Baden-Württemberg finanziert und schließt an frühere Arbeiten der Hauptabteilung Sicherheit zu diesem Thema an.

Zum jetzigen Zeitpunkt verzeichnet das Radonprojekt 167 teilnehmende Wasserversorgungsunternehmen (WVU).

In jedem Hochbehälter-Kammerraum und jedem Aufbereitungsgebäude, also überall dort, wo eine erhöhte Radonkonzentration nicht ausgeschlossen werden kann, wird ein Radonexposimeterpaar positioniert. Die Wasserwerksbetreiber bestimmen die Orte und bestellen die gewünschte Anzahl an Ortsexposimetern. Diese werden dann von Radonlabor in gasdicht verschweißten Aluminiumtüten an die Wasserwerke (WW) versandt. Das WW erhält dazu die erforderlichen Beschreibungen sowie ein Protokoll. In dieses Protokoll trägt der Mitarbeiter die Expositionsorte sowie den Expositionsstartzeitpunkt (Zeitpunkt des Auspackens) sowie den Endpunkt (Zeitpunkt des Einpackens) ein. Zusammen mit den exponierten Detektoren sendet der Mitarbeiter die Protokolle nach maximal 14 Tagen Expositionszeit an das Radonlabor zurück. Die Ortsmessungen geben Aufschluss über Orte in den Anlagen, an denen eine erhöhte Radonkonzentration vorhan-

den ist. Für Sonderarbeiten wie zum Beispiel Behälterreinigungen sind gesonderte Messungen vorgesehen.

Zusätzlich wählen die WVU die Mitarbeiter der Wasserwerksanlage aus, bei denen auf Grund ihrer routinemäßigen Arbeiten eine höhere Radonexposition zu erwarten ist und die deshalb ein Radonexposimeter tragen sollten. Dabei können Personen mit vergleichbaren Arbeiten zusammengefasst werden, dann trägt repräsentativ für diese Personengruppe nur eine Person das Radonexposimeter. Jedes Personenexposimeter besitzt ein zugehöriges Referenzexposimeter, das an Orten mit geringer Radonkonzentration gelagert werden soll. An diesem Ort wird das Personenexposimeter außerhalb der Arbeitszeit aufbewahrt. Die Konzentration des Referenzortes wird bei der Auswertung des personengebundenen Exposimeters berücksichtigt. Die personengebundenen Exposimeter werden für mindestens drei Monate von den ausgewählten Personen bei Arbeiten im Wasserwerk getragen.

Bisher gewonnene Ergebnisse zeigen, dass erhöhte Konzentrationen von Radon und seinen kurzlebigen Folgeprodukten an Arbeitsplätzen in Wasserwerken auftreten können und damit das dort beschäftigte Personal in den betroffenen Bereichen einer Strahlenexposition über dem Jahres-Eingreifwert ausgesetzt werden kann (siehe Abb. 6-50 und Abb. 6-51).

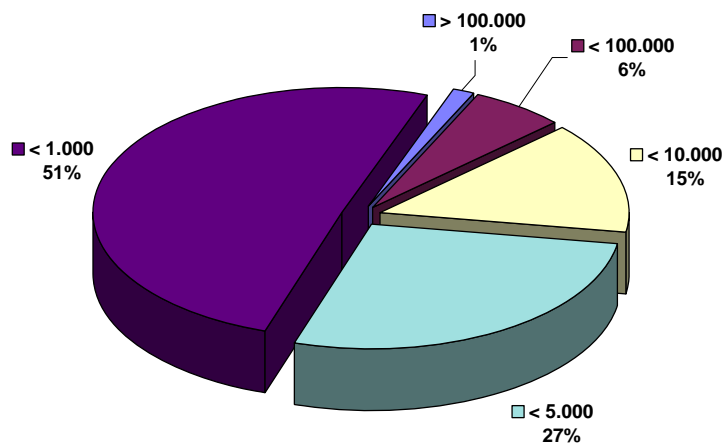


Abb. 6-50: Zusammenfassung aller bisher gemessenen Ortskonzentrationen in [Bq/m³]

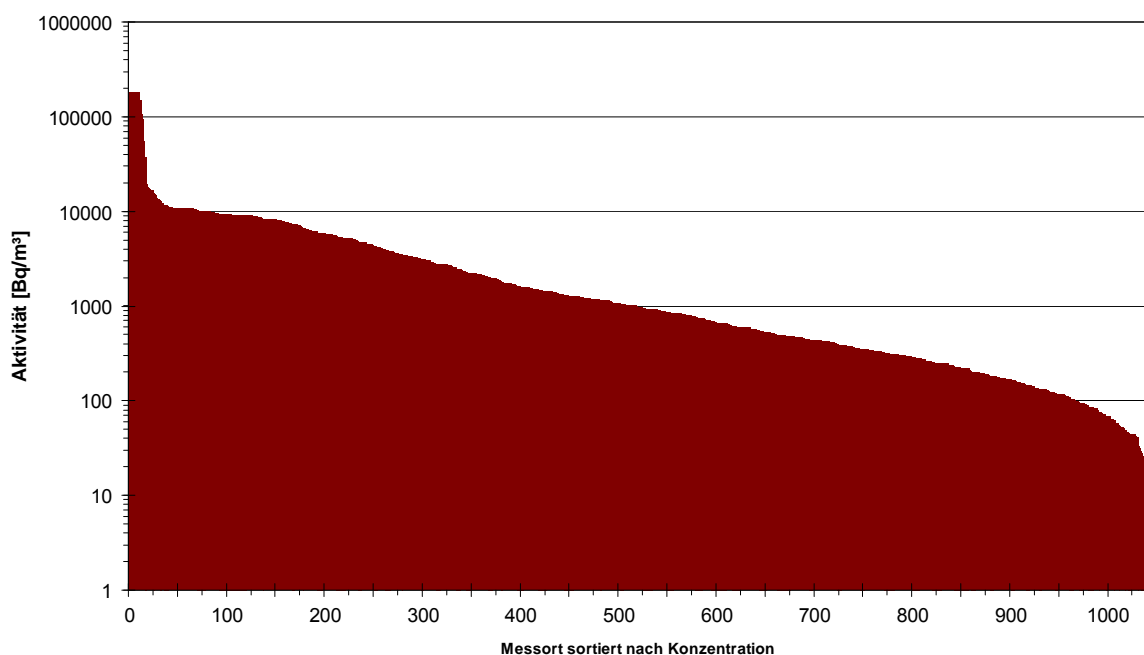


Abb. 6-51: Übersicht über alle Ortsmesswerte sortiert nach der Konzentration

Vergleicht man an ausgewählten Orten die Radonkonzentration während des Routinebetriebs und während der Reinigung, so sieht man deutlich einen Anstieg bei Reinigungsvorgängen (Abb. 6-52). Die Erhöhung der Konzentration liegt zwischen dem Faktor 2 mal und dem Faktor 80 mal so hoch wie im Routinebetrieb, im Mittel 30 mal höher.

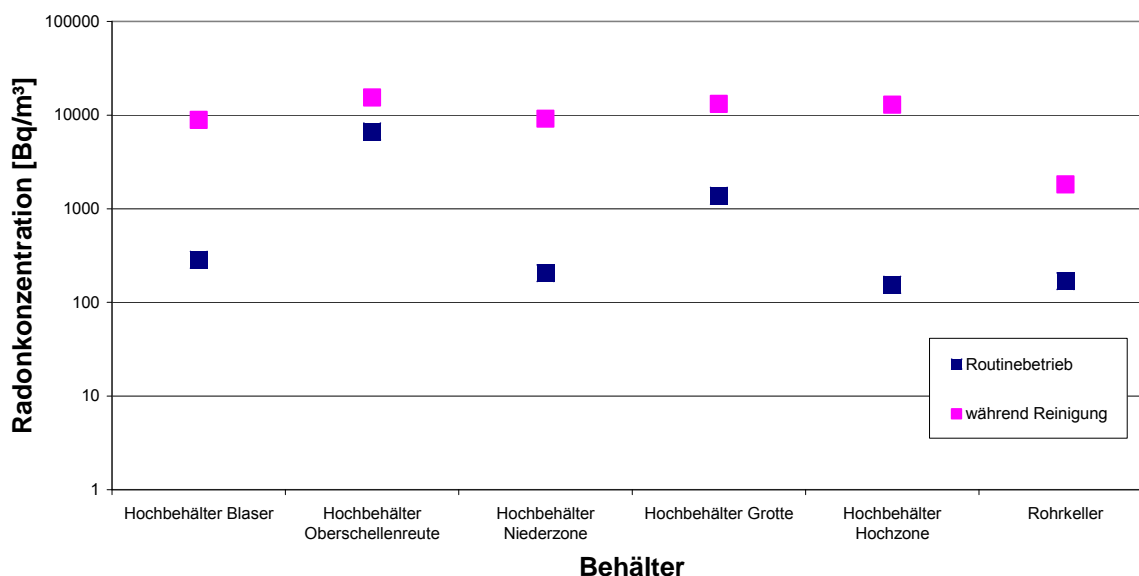


Abb. 6-52: Vergleich der Radonortskonzentration von Behältern im Normalbetrieb und während der Reinigung

Ein Rückschluss auf die zu erwartende berufliche Exposition in Wasserwerken aus der Konzentration in Bodenluft (wie beim Vorhaben "Radon in Häusern" oder aus dem Vorhaben "Radon in Trinkwasser") hat sich als nicht möglich erwiesen, dies ist u. a. auf weitaus größere zurückgelegte Wegstrecken des geförderten radonhaltigen Wassers zurückzuführen. In der folgenden Abbildung (Abb. 6-53) sind als Beispiel die Ergebnisse der Ortsmessungen im Postleitzahlenbereich

69 aufgetragen, deutlich zu sehen ist die breite Verteilung der gemessenen Konzentrationen trotz der örtlichen Nähe der Messpunkte.

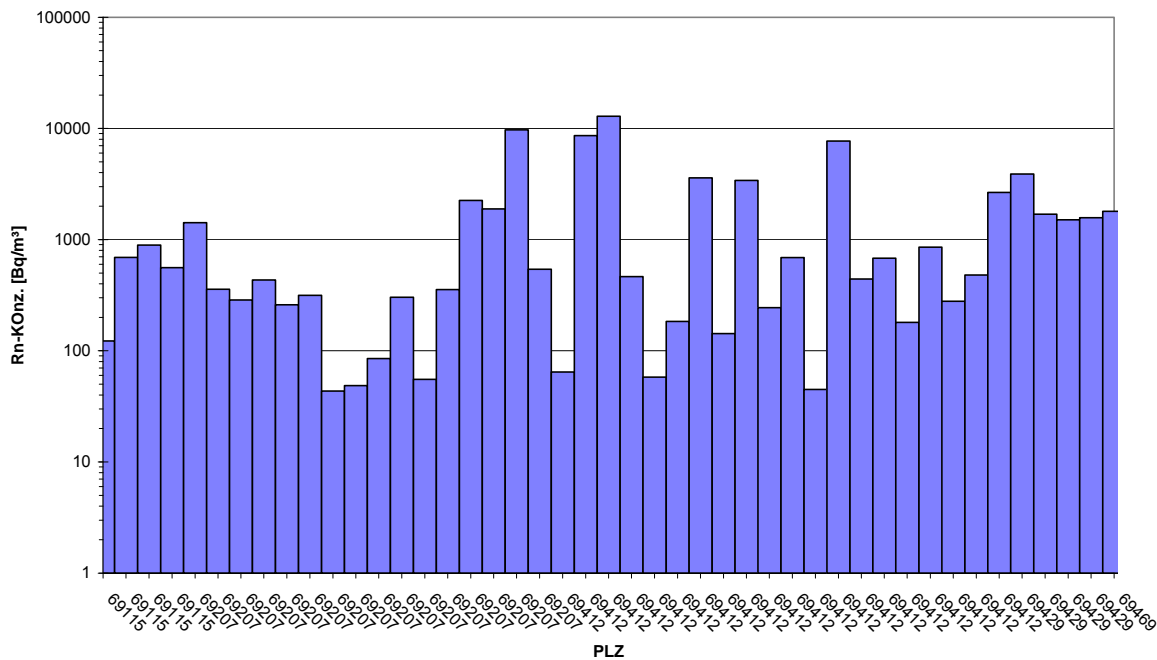


Abb. 6-53: Radon-Konzentration im Postleitzahlenbereich 69

Eine Abschätzung der Radonexposition aus den gemessenen Ortskonzentrationen ist beliebig ungenau, deswegen werden im Zuge des Projekts auch personenbezogene Messungen durchgeführt. Die Ergebnisse der bisher gemessenen Personen sind in Abb. 6-54 dargestellt. Ab einer Jahrespersonenexposition von $1000 \text{ kBq h m}^{-3}$ (3 mSv) sollten im Rahmen des allgemeinen Arbeitsschutzes Maßnahmen besondere Beachtung finden, die zu einer weiteren Verringerung der Radon-Arbeitsplatzkonzentrationen beitragen können (z. B. häufiges Lüften, Verringerung der Aufenthaltszeiten in den Räumen mit erhöhter Radonkonzentration).

Bisher wurden Personenexpositionen von 170 Personen aus 72 Wasserversorgungsunternehmen bestimmt (Abb. 6-54). Von diesen überschreiten sieben Personen aus vier WW den Jahreseingriffswert von 6 mSv, zum Teil erheblich. Dies entspricht 4 % aller gemessenen Personenexpositionen. Für das eingesetzte Messverfahren liegt die Nachweisgrenze bei ca. 0,1 mSv für ein Kalenderjahr. Wenn die Abschätzung der aus der Radonexposition ermittelten effektiven Dosis ergibt, dass diese für im Wasserwerk beschäftigtes Personal mehr als 6 Millisievert (mSv) im Kalenderjahr beträgt, sind gemäß § 95 Abs. 10 StrlSchV weitere Maßnahmen zu ergreifen. So ist u. a. die Radonexposition der betroffenen Mitarbeiter dauerhaft zu ermitteln, um die Einhaltung des Jahreshgrenzwerts der effektiven Dosis für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv sicherstellen zu können.

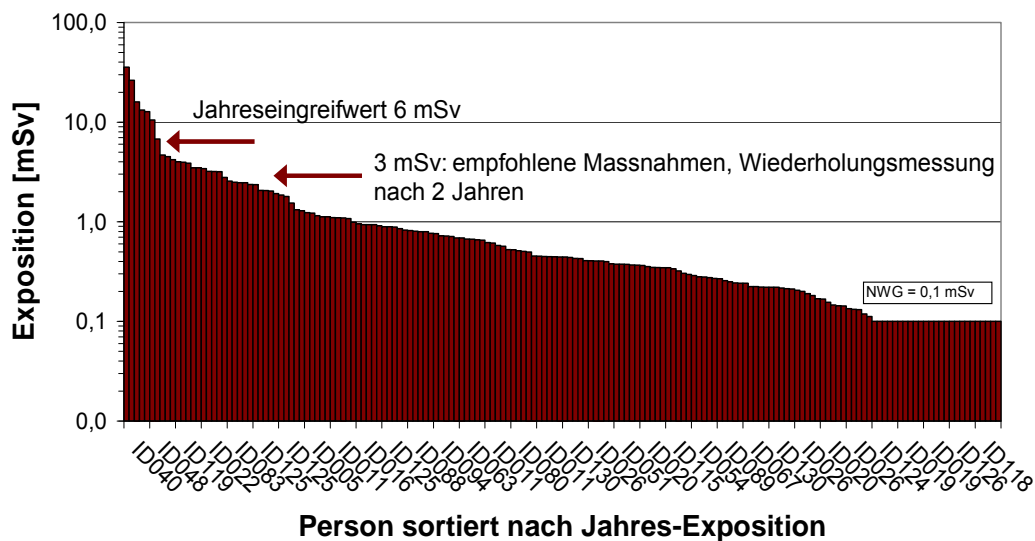


Abb. 6-54: Zusammenfassung der bisher gemessenen Personenexpositionen

Bei einer Dosis über 3 mSv sollten nach zwei Jahren Wiederholungsmessungen durchgeführt werden. Dies betrifft zwölf der gemessenen Personen, 7 % aller bisher bewerteten Personenexpositionen.

Die schwere Erreichbarkeit der Wasserversorgungsunternehmen und der schlechte Informationsfluss innerhalb der Dachverbände der Wasserversorger machte eine Verlängerung des Projekts bis 2008 notwendig, um tatsächlich flächendeckend in Wasserversorgungsunternehmen in Baden-Württemberg Radonmessungen vorzunehmen.

Zusammenfassend ist fest zu halten, dass es in Baden-Württemberg Wasserwerke gibt in denen die Mitarbeiter einer Radonexposition größer 6 mSv in einem Kalenderjahr ausgesetzt sein können. Weitere Hilfestellungen wie Aktivmessungen vor Ort und Unterstützung bei Maßnahmen zur Verringerung der Radonexposition werden durch Radonlabor durchgeführt.

6.5.4 Radonmessungen an einer Schule

I. Swillus, S. Nagels, S. Ugi

Im Rahmen einer vom Bundesamt für Strahlenschutz 2001 bis 2003 größer angelegten Messreihe zur Bestimmung der Radonexposition lag nur ein Messwert für die nähere Umgebung dieser Schule vor. Das Bundesumweltamt hatte am 23.01.2006 die Verwaltung der betroffenen Region beauftragt, interessierte Bürger zu unterstützen und Messungen auf freiwilliger Basis zu koordinieren. Bis 03.03.2006 hatten sich 17 Bürger aus der betroffenen Region gemeldet. Ihnen wurden Radonexposimeter und Fragebögen zugesendet, die nach einer festgelegten Messdauer wieder zur Auswertung zurückgesendet wurden. Neben privaten Auftraggebern hat sich auch die betroffene Schule in zwei Kellerräumen an den Messungen beteiligt. Die Ergebnisse brachten erhöhte Konzentrationen in zwei Abstellräumen im Untergeschoss der Schule. Zur Überprüfung hatte der Schulträger beim Umweltministerium Baden-Württemberg weitere Messreihen beantragt, die durch das Radonlabor des Forschungszentrums Karlsruhe durchgeführt wurden.

Vom 25.11.06 bis 20.12.06 wurden in der Schule 137 Exposimeter aufgehängt. Im Untergeschoss und im Erdgeschoss wurde in jedem Raum mit je zwei Exposimetern gemessen, in den Obergeschossen nur in repräsentativen Räumen. In einer zweiten Vergleichsmessung wurde während der Schulferien vom 20.12.2006 bis 04.01.2007 die Radonexposition in der unbelüfteten Schule aufgezeichnet. Insgesamt zeigen die Messergebnisse, dass nur im Bereich der Untergeschossräume höhere Radonkonzentrationen gemessen wurden. In der unbelüfteten Ferienzeit

stiegen diese deutlich an. Die Radonkonzentration im überwiegenden Teil der Räume liegt deutlich unter 200 Bq/m³ (Abb. 6-55).

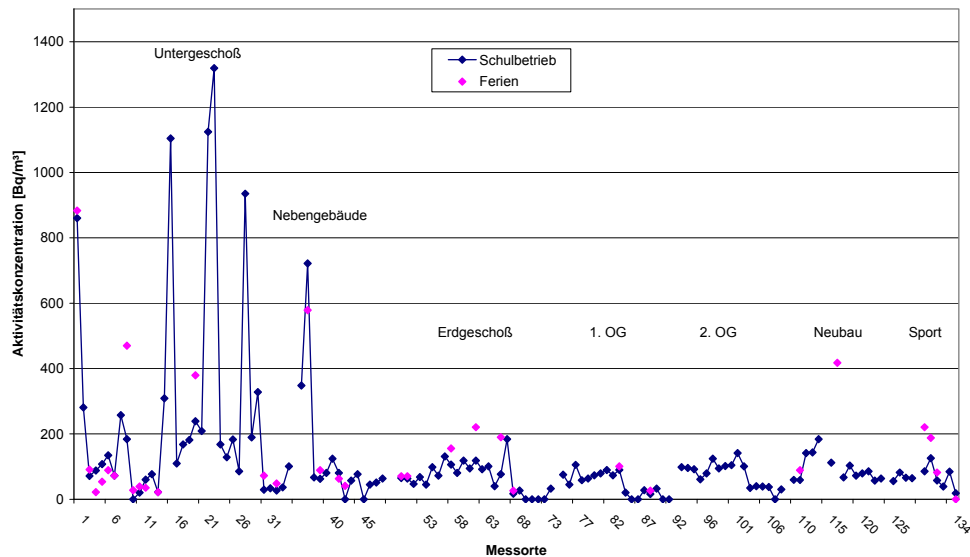


Abb. 6-55: Übersicht über die Ergebnisse der ersten Messreihe mit passiven Radondetektoren an der betroffenen Schule

Die höheren Radonkonzentrationen beschränkten sich auf den Altbau, ein zweizügiger Gebäudestrakt, der über Querflure verbunden ist. Auffallend waren die Werte an den jeweiligen Gebäude-Stirnseiten von Trakt 1. Auf ähnlichem Niveau befand sich in Gebäudemitte von Trakt 2 ein ehemaliges Fotolabor. Auch in einer Toilette im Trakt 1 wurden 900 Bq/m³ gemessen. In der folgenden Abbildung sind die am stärksten belasteten Räume mit den ermittelten Ortskonzentrationen im Untergeschoss in einem Gebäudeplan dargestellt (Abb. 6-56).

Nach Vorliegen der Messergebnisse wurden mögliche Eintrittspfade gesucht. Dazu wurden die Räume besichtigt und mit aktiven Messgeräten an auffälligen Stellen gemessen. Im Raum 15 im Untergeschoss wurde eine größere Anzahl von ausgetrockneten Siphons an Laborbecken gefunden, es bestand direkter Kontakt zu Luft der Abwasserkanalisation. Der gleiche Eintrittspfad wurde in der Toilette (R 3) gefunden. In einem Bodenschacht fand sich eine Abwasserleitung mit geöffnetem Revisionsdeckel. In einem ehemaligen Laborraum (R 7) fanden sich Bodenabläufe deren Geruchsverschlüsse ebenfalls ausgetrocknet waren. In diesen Räumen war der typische Geruch von Kanalluft wahrnehmbar.

Die Quelle des Radons ist mit hoher Wahrscheinlichkeit die Bodenluft. Messungen der Dosisleistung an den Wänden schlossen das Baumaterial als Quelle für das Radon aus. Das Schulgebäude liegt in einer Wanne mit einem tiefen Schulhof oberhalb von Trakt 1. Dadurch haben die Außenwände der Räume im Untergeschoss direkten Kontakt zum Erdreich. Die Räume an den Stirnseiten der Trakte sind an drei Außenwänden von Erdreich umgeben. Ausblühungen am Putz bis zu 15 cm über dem Fußboden zeugten von Feuchtigkeitseintritt. Die mit passiven Exposimetern gemessenen hohen Messwerte wurden durch die Aktivmessungen bestätigt.

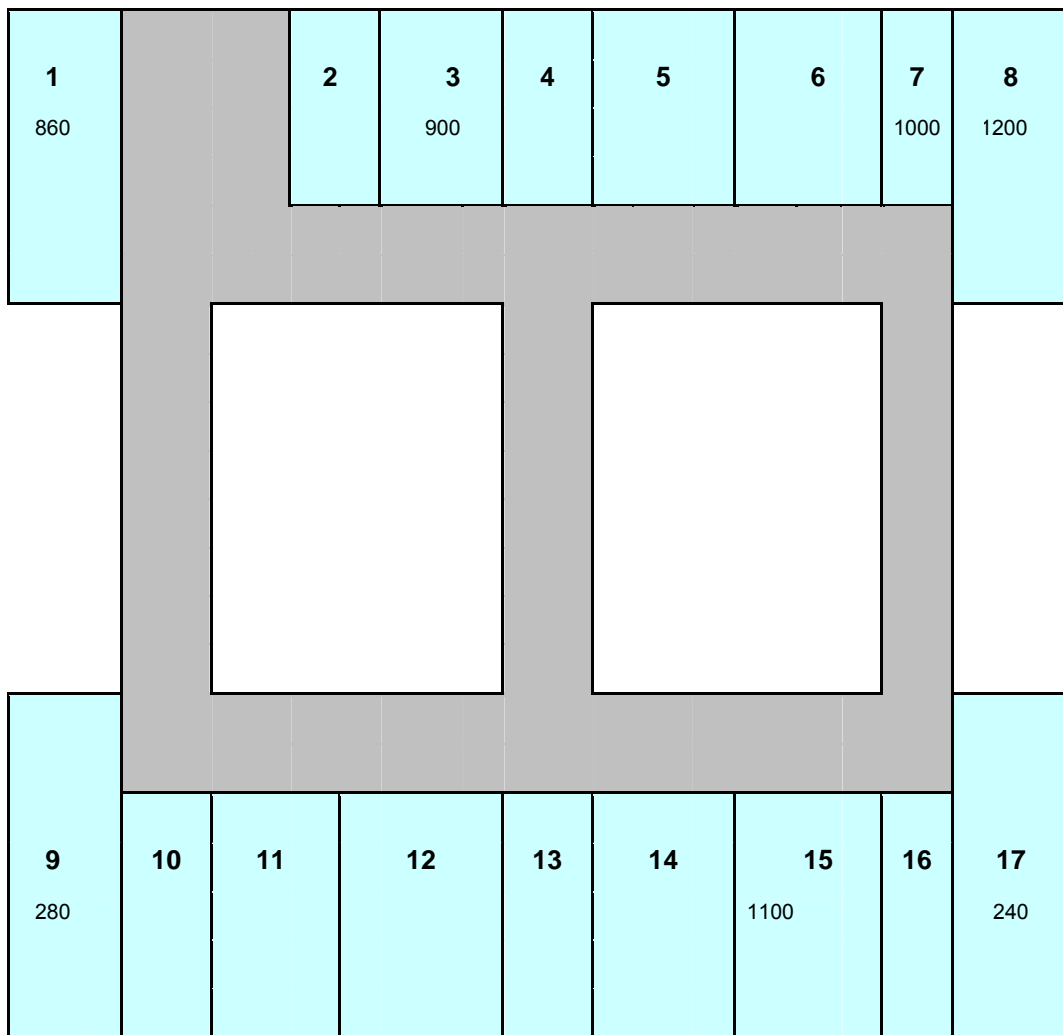


Abb. 6-56: Gebäudeplan des Altgebäudes der betroffenen Schule und in auffälligen Räumen gemessene Radonkonzentration

Am 5.03.2007 fand im Gemeindesaal der betroffenen Ortschaft eine Informationsveranstaltung zu diesem Thema statt. Anwesend waren die Schulleitung, der Bürgermeister, Vertreter des Gemeinderates und des Lehrerkollegiums und einige wenige interessierte Eltern und Bürger sowie Vertreter der örtlichen Presse.

Anschließend wurden vom Schulträger die Außenwände der Stirnseiten, soweit möglich, freigelegt, isoliert und mit Nockenfolien hinterlüftet bzw. mit einer Drainage versehen. Ebenso wurden die Zugänge zur Kanalisationsluft verschlossen.

Mit dem Ziel der Kontrollmessung, bzw. um weitere Informationen über die Radonkonzentrationen in der Raumluft der Schule zu erhalten wurden in den Untergeschossräumen am 15.05.2007 weitere aktive Messungen durchgeführt.

Die Sanierungsmassnahmen zeigten bis auf einen Raum vollen Erfolg. Bei einem anderen Raum, der nicht von Schülern genutzt ist, steht die Sanierung noch aus. Bei dem Raum mit nur geringen Verringerungen der Konzentration wurde unter der Sockelleiste im Dehnungsspalt zwischen Estrich und Außenwand eine hohe Konzentration gefunden. Da alle drei Raumseiten gleichzeitig ähnliche Werte zeigten und diese auch bei Absaugung durch ein Sauggerät gleichmäßig zurückgingen, ist als Zutrittspfad eine gerissene und nicht sanierte Bodenplatte zu vermuten. Das aus der Bodenluft diffundierende Radon kann sich in der Isolation zwischen Bodenplatte und Estrich verteilen, um dann an der Dehnungsfuge in den Raum auszutreten.

Der Schlauch für die Lufteinsaugung wurde unter die Kunststoffsockelleiste, die den Spalt zwischen dem Estrich von der Wand abdeckt, geschoben (Abb. 6-57).

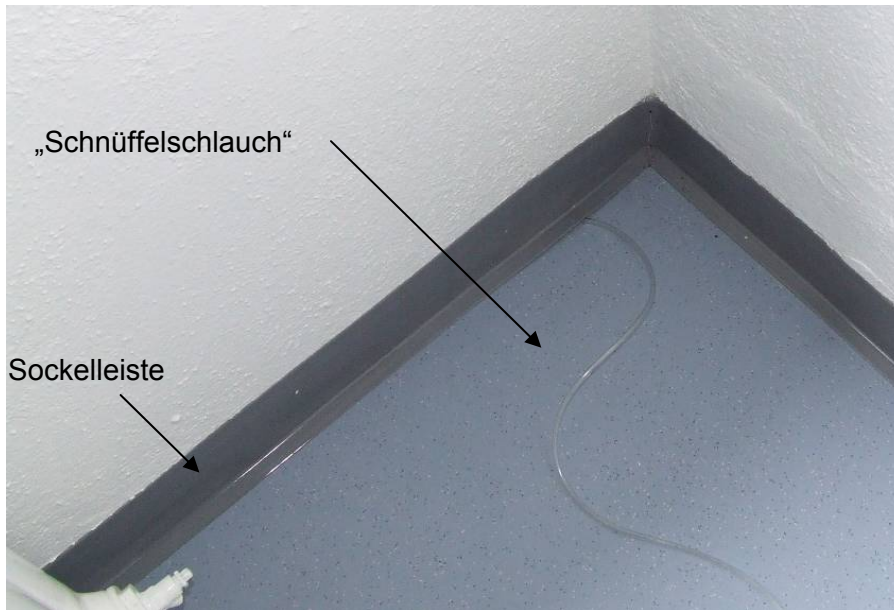


Abb. 6-57: Messung im Schnüffelmodus, d. h. Alpha Guard bzw. ATMOS wurden im Durchflussmodus betrieben und die zu messende Luft durch einen Schlauch angesaugt

Die gemessenen Radonkonzentrationen an verschiedenen Messpunkten in der Sockelleiste (Abb. 6-58 belegen, dass das Radon über die Sockelleiste in den Raum 8 eintritt.

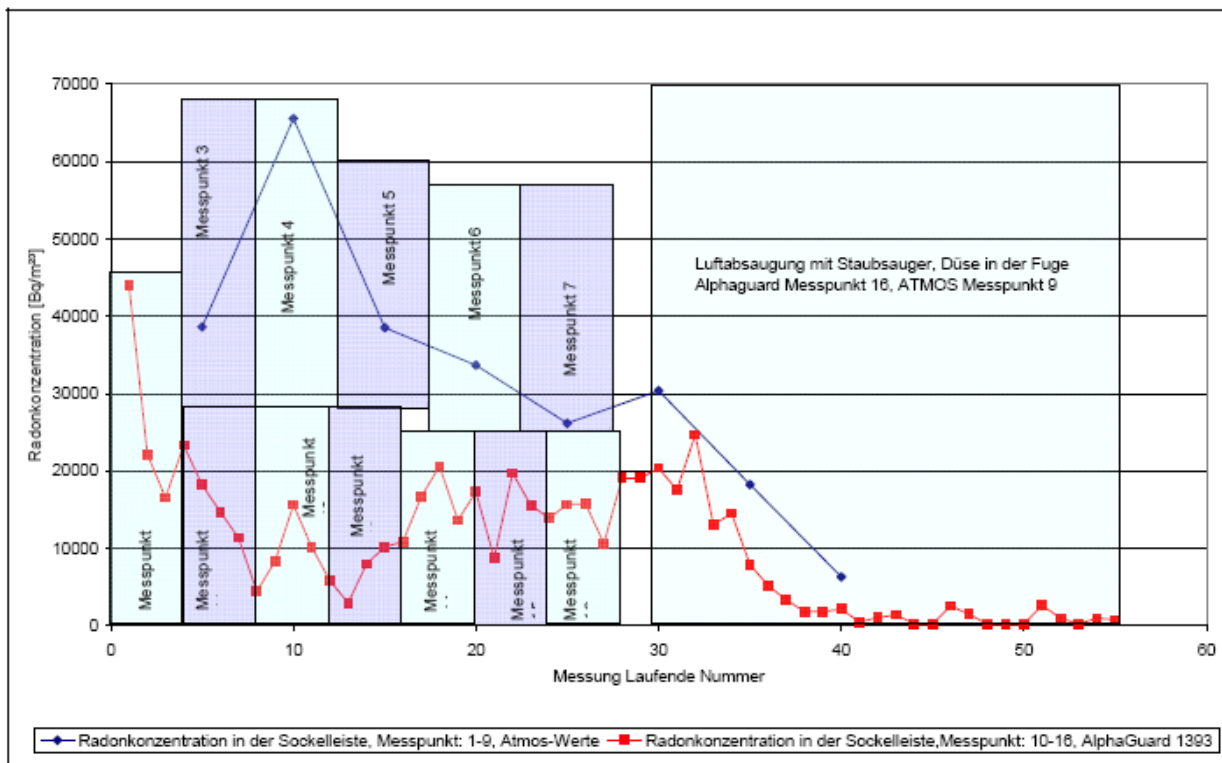


Abb. 6-58: Messwerte unter der Sockelleiste im Raum 8

Um über die Raumlüftung hier Abhilfe zuschaffen, wurden mehrere Lüftungsvarianten bei aktiver Messung untersucht.

Aufgrund der vorliegenden Messungen wurde eine Abschätzung für eine Lüftungsempfehlung durchgeführt, zu sehen in der folgenden Abbildung.

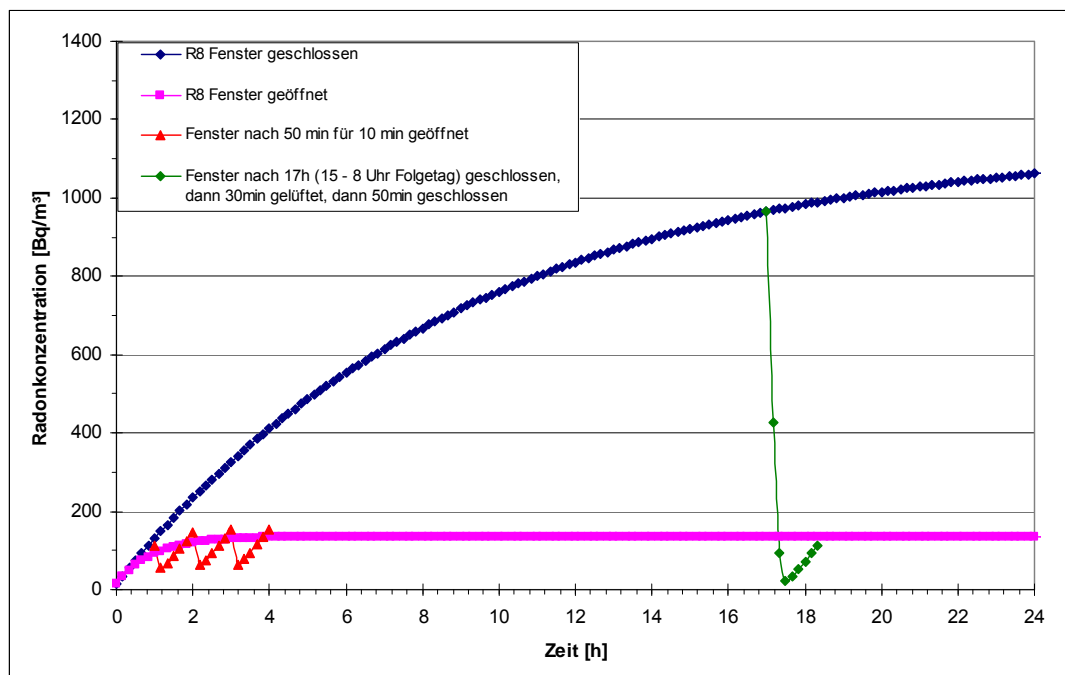


Abb. 6-59: Rechnerische Ermittlung des Anstiegs der Radonkonzentration im Raum 8

Die blaue Kurve in Abb. 6-59 zeigt, dass bei geschlossenem Fenster die Radonkonzentration kontinuierlich ansteigt. Dieser Anstieg wurde aus den Messungen errechnet. Nimmt man als Sättigungswert 1150 Bq/m^3 an, den Wert, der bei Beginn der Messung nach vier Wochen unbelüftet, vorhanden war, und bestimmt aus der Steigung der Radonkonzentration nach Schließen der Fenster die Emanationsquelle, erhält man eine Ventilationsrate von $v=0,1$ bei geschlossenen Fenstern und geschlossener Tür. Die Ventilationsrate gibt an, welcher Anteil der Zimmerluft pro Zeiteinheit gegen die Außenluft ausgetauscht wird (in h^{-1}). Die Ventilationsrate hängt aber nicht nur vom Austausch der Innen- mit der Außenluft ab, sondern in erheblichem Maße vom Lüftungsverhalten der Benutzer des Raumes. Zu sehen ist dies an der roten Kurve in Abb. 6-59. Hier wurde ein stündliches Lüften angenommen. Dabei werden nach 50 Minuten bei geschlossenen Fenstern beide Fensterseiten für 10 Minuten geöffnet, dies bringt eine erhebliche Reduzierung der Radonkonzentration. Wenn ein Fenster leicht geöffnet bleibt, ist eine Ventilationsrate von $v=1$ anzunehmen, dies ist in der rosa Kurve dargestellt. Bei dauernd leicht geöffnetem Fenster würde die Radonkonzentration demnach nie über ca. 170 Bq/m^3 steigen. Die grüne Kurve zeigt den theoretischen Radonkonzentrationsverlauf wenn am Ende eines Schultages gegen 15 Uhr Fenster und Türen bis zum nächsten Morgen um 8 Uhr geschlossen bleiben (für 17 Stunden) und dann für 30 Minuten durch Öffnen beider Fensterseiten gut durchlüftet wird. Anschließend bleibt das Fenster wieder für 50 Minuten geschlossen, zu sehen am Anstieg der Radonkonzentration.

Am einfachsten lässt sich die Radonkonzentration durch Lüften senken. Eine Untersuchung des Bundesamtes für Strahlenschutz zeigt deutlich auf, dass die Radonkonzentration nach dem Lüften um bis zu 90 % abnimmt, dies konnte durch die durchgeführten Messungen belegt werden. Auch in den belasteten Räumen 8 und 1 führte ein Durchzug zu massiven Konzentrationsverminderungen bis hin zur Nachweisgrenze. Es wird daher empfohlen in den Pausen wie gewohnt die Klassenzimmer im Untergeschoss gut zu durchlüften.

6.5.5 Radon in Bodenluft

S. Nagels, S. Ugi

Radon ist ein natürlich in der Erdkruste vorkommendes, radioaktives Edelgas. Es wird in den natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium aus seinem Mutternuklid Radium ständig neu gebildet. Als Gas kann es sich leicht von seinem Bildungsort, den Böden und Gesteinen des Untergrundes, entfernen und über Undichtigkeiten im Boden in Gebäude eindringen und sich dort anreichern. Die Inhalation von Radon und seinen Folgeprodukten verursacht nachgewiesenermaßen Lungenkrebs und stellt daher eine gesundheitliche Gefährdung dar. Aus diesem Grund sollen mithilfe der Karlsruher Radonexposimeter Bodenluftmessungen auf Baugrund durchgeführt werden. Das Karlsruher Radonexposimeter dient dabei zur Bestimmung der mittleren Aktivitätskonzentration von Radon-222. Dabei kann in der Bodenluft ein Anteil von Radon-220 (auch Thoron genannt) nicht ausgeschlossen werden. Dieses Nuklid ist wegen seiner geringen Halbwertszeit von 56 Sekunden für die Gefährdungsbeurteilung nicht maßgeblich, kann aber die Messwtergebnisse der Radonexposimeter verfälschen, da es genau wie das Radon-222 einen Messeffekt im Detektormaterial verursacht.

Einige Veröffentlichungen, z. B. [KEM02], gehen davon aus, dass Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft mittels „passiver“ integrierender Langzeitmessverfahren (z. B.: Kernspurdetektoren) für die vorliegende Fragestellung nicht eingesetzt werden können, da die so gewonnenen Ergebnisse nur bei einem sehr hohen Kalibrierungsaufwand, der die relevanten meteorologischen und bodenphysikalischen Kenngrößen berücksichtigt, verwendet werden können.

In dieser Versuchsreihe soll untersucht werden, ob es möglich ist mit integrierenden Messsystemen, in diesem Fall mit Kernspurdetektoren, reproduzierbare Ergebnisse über das geogene Radonpotenzial einer Fläche zu erhalten. Die Ergebnisse sollen für eine Baugrunduntersuchung die Grundlage schaffen, eine in Größenordnungen eingeteilte Gefährdungsbeurteilung abzugeben. Bei erhöhten Messwerten kann dann ein meist genaueres Aktivmessverfahren eingesetzt werden.

In der Nähe des Ortes Ludwigshöhe, an der B9 zwischen Worms und Oppenheim gelegen, wurden auf einem Versuchsfeld des Landes Rheinland-Pfalz Karlsruher Radonexposimeter verschiedener Ausführungen in ca. 1 m Bodentiefe vergraben. Die Exposimeter wurden über unterschiedliche Zeiträume exponiert.

Das Karlsruher Radonexposimeter ist in seiner normalen Ausführung bis zu einer Spurendichte von ca. 3000 tr (tracks)/cm² auswertbar, dies entspricht bei einer Expositionszeit von 14 Tagen einer mittleren Radonkonzentration von 18 000 Bq/m³ (Tab. 6-13).

Expositionszeitraum	Auswertbare mittlere Radonkonzentration
[d]	[Bq/m³]
2	127 000
7	36 000
14	18 000

Tab. 6-13: Maximal messbare mittlere Radonkonzentration eines Karlsruher Radonexposimeters bei einer Spurendichte von 3000 tr/cm²

Das Versuchsfeld wurde in sieben kreisförmige Messzonen unterteilt, in diesen jeweils fünf Glocken mit Exposimetern vergraben werden konnten (Abb. 6-60).

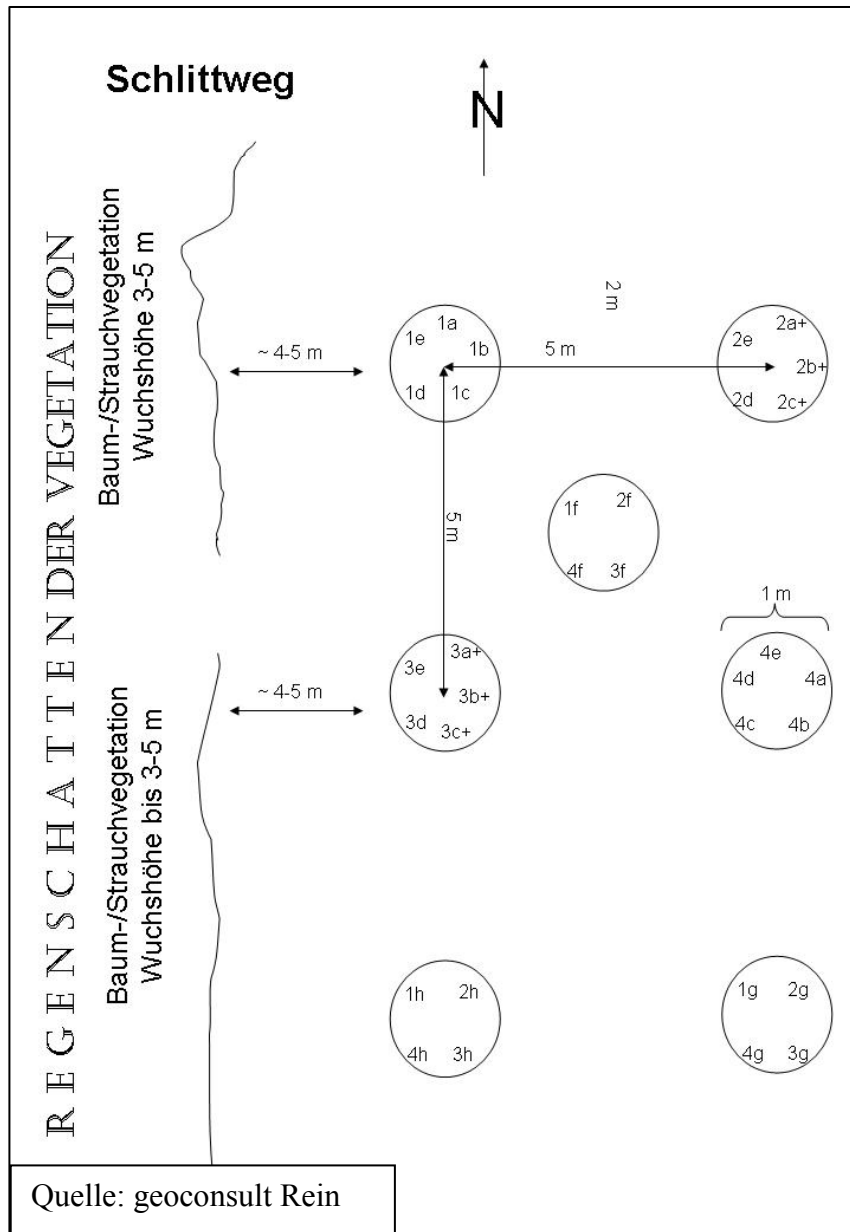


Abb. 6-60: Übersicht des Versuchfeldes mit den Probenpositionen

Um das Rn-220 zurückzuhalten wurden Expositometer in verschiedenen Ausführungen gebaut. Um wenigstens zwei vergleichbare Werte zu erhalten wurden zwei Routine-Expositometer (Abb. 6-61) in einer Glocke in den Boden eingegraben.

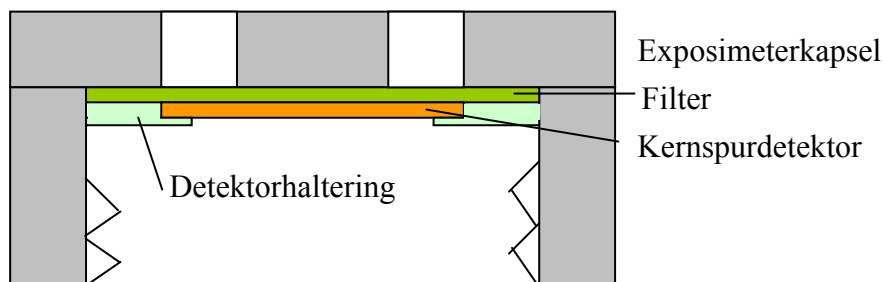


Abb. 6-61: Routineexpositometer im Querschnitt

Eine geänderte Bauweise war ein Exposimeter in dem anstatt des Filters zur Zurückhaltung der Radonfolgeprodukte eine 100 µm dicke PE-Folie zur Zurückhaltung des Rn-220 eingelegt wurde (Abb. 6-62).

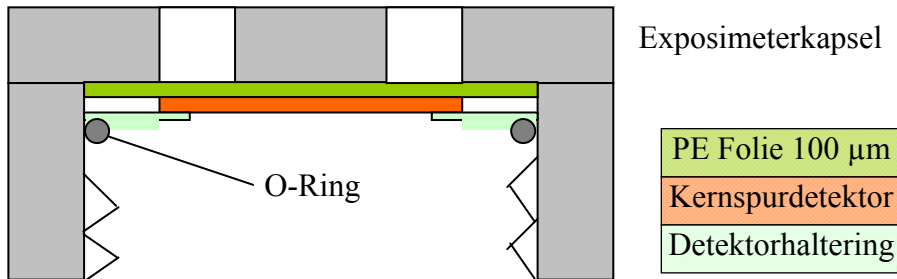


Abb. 6-62: Routineexposimeter mit 100 µm PE-Folie anstatt Filter

Um die Wirksamkeit einer PE-Folie mit 100 µm Dicke zusammen mit einem Filter gegen den Einlass von Rn-220 zu testen, wurden zwei Exposimeter mit einer PE-Folie und einem Filter verschlossen. Um das Eindringen von Radon über das Verschlussgewinde zu verhindern wurde dieses mit einem O-Ring aus Gummi luftdicht verpresst (Abb. 6-63).

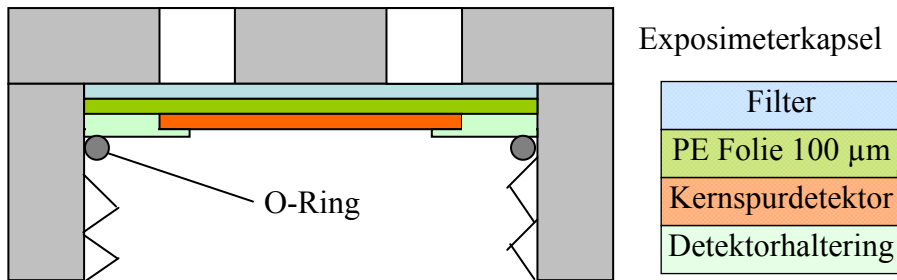


Abb. 6-63: Radonexposimeter abgedichtet mit PE-Folie und O-Ring im Querschnitt

In einem weiteren Aufbau wurde ein Routineexposimeter in eine 150 µm PE Tüte eingeschweißt (Abb. 6-64:).

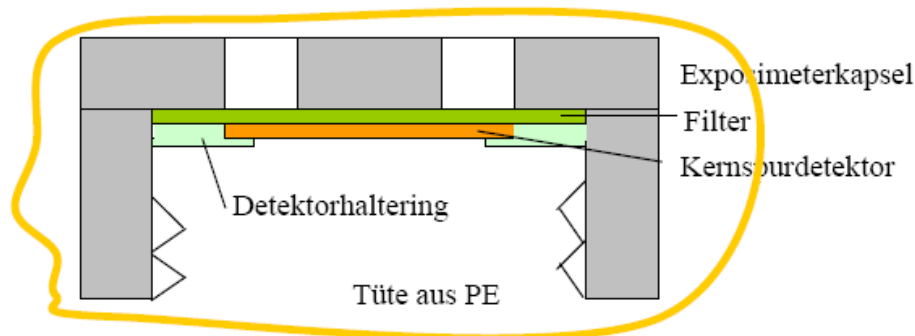


Abb. 6-64: Exposimeter in 150 µm Dicke PE-Folie eingeschweißt.

Zusätzlich zur im vorhergehenden Punkt besprochenen Zurückhaltung des Rn-220 wurde beim folgenden Aufbau eine Volumenverkleinerung eingebaut, um das Ansprechvermögen zu senken.

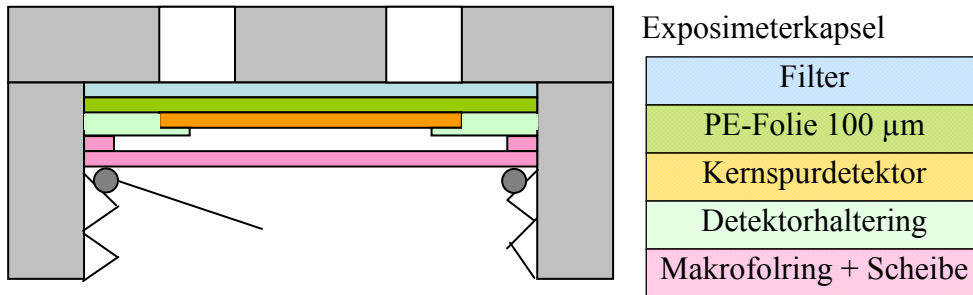


Abb. 6-65: Radonexposimeter abgedichtet mit PE-Folie und O-Ring mit Volumenverkleinerung im Querschnitt

Beim nun folgenden Aufbau sollte die Zurückhaltung des Rn-220 und des Rn-222 getestet werden. Zu diesem Zweck wurde anstatt des Filters eine Folie einer Aluminiumverbundtüte ausgestanzt und als Einlassabdichtung in das Exposimeter eingebaut (Abb. 6-66).

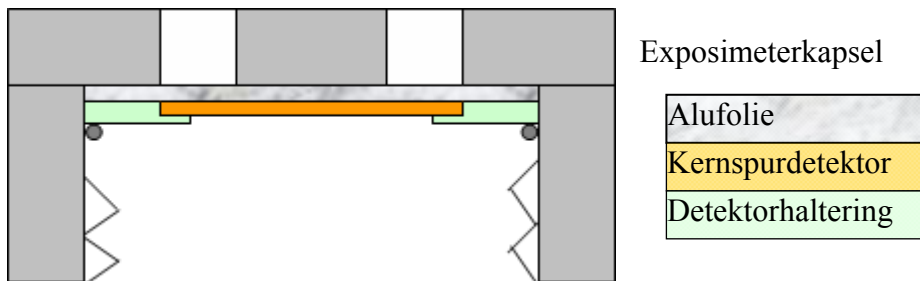


Abb. 6-66: Radonexposimeter abgedichtet mit Alufolie und O-Ring im Querschnitt

Um die Radonexposimeter wieder aus dem Boden befreien zu können, wurden sie in verschiedenen Metallglocken untergebracht (Abb. 6-67). Am Donnerstag den 12.10.2006 wurden acht Glocken, davon vier aus Messing und vier aus Verschlussstücken bestehend, auf dem Versuchsfeld auf der Ludwigshöhe in einem Meter Tiefe vergraben.



Abb. 6-67: Für die Versuche verwendete Glocken, rechts aus Verschlussstücken, links aus Messing hergestellt

Mit diesem Versuch wurde in einer Messzeit von 7 Tagen der Einfluss von verschiedenen Folien auf die Zurückhaltung von Rn-220 untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Folien keinerlei Einfluss auf die mittlere Radonkonzentration haben (Tab. 6-14). Vermutlich ist die Rn-220 Konzentration so gering in der Bodenluft des Versuchsfeldes, dass die Verwendung einer Diffusionsperre keinen Unterschied auf das Ergebnis macht.

Glockennummer	Position im Versuchsfeld	Aufbau des Expositometers	Expositionsdauer [d]	Mittlere Radonkonzentration [Bq/m³]
1	1a	I	7	26649
2	1b	I	7	29982
3	1c	I	7	21244
4	1d	I	7	25187
Mittelwert ± Standardabweichung Expositometeraufbau I:				25766 ± 14,1 %
1	1a	II	7	25673
2	1b	II	7	25673
3	1c	II	7	28999
4	1d	II	7	24143
Mittelwert ± Standardabweichung Expositometeraufbau II:				26122 ± 7,8 %
5	1e	III	7	25226
6	1f	III	7	24823
7	1f	III	7	25978
8	1h	III	7	23003
Mittelwert ± Standardabweichung Expositometeraufbau III:				24758 ± 5,1 %
1	1a	IV	7	31481
2	1b	IV	7	31687
3	1c	IV	7	23726
4	1d	IV	7	23890
Mittelwert ± Standardabweichung Expositometeraufbau IV:				27696 ± 16,2 %
Mittelwert ± Standardabweichung Gesamt:				26085 ± 11,5 %

Tab. 6-14: Ergebnisse des ersten Versuchs auf dem Versuchsfeld in Rheinland-Pfalz, Glocke 1-4 aus Messing, Glocke 5-8 aus Verschlussstücken hergestellt

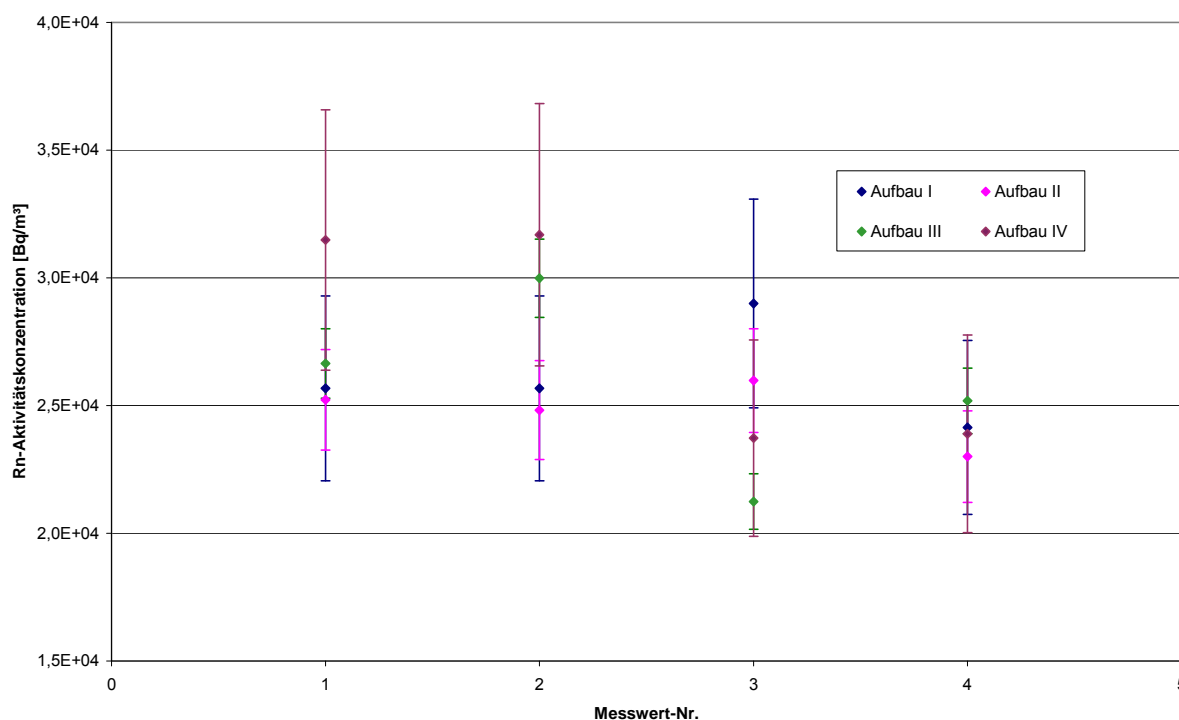


Abb. 6-68: Vergleich der mittleren Radonkonzentration sortiert nach dem Aufbau der Exposimeter

Auch ein Vergleich zwischen den einzelnen Messpositionen lässt keine signifikanten Unterschiede erkennen (Tab. 6-15).

Messort	Mittlere Radonkonzentration und Standardabweichung der Exposimeter [Bq/m³]
1a	27934 ± 11,1 % (vier Messwerte)
1b	29114 ± 10,6%
1c	24656 ± 16,1%
1d	24407 ± 2,8%
1e	25226 (ein Messwert)
1f	25401 ± 3,2% (zwei Messwerte)
1h	23003 (ein Messwert)
Mittelwert ± Standardabweichung Gesamt:	26302 ± 8,0 %

Tab. 6-15: Messwerte an den Messpositionen

Am Freitag den 13.10.2006 wurden vier Glocken, alle aus Verschlussstücken, mit jeweils zwei Exposimeter in ein Meter Bodentiefe auf dem Gelände im Forschungszentrum Karlsruhe eingegraben. Am Montag den 16.10.2006 wurden diese Exposimeter wieder „geerntet“.

Dieser Versuch diente zum Einen eine eventuelle Überexposition der in Rheinland-Pfalz ausgebrachten Exposimeter noch vor der Ätzung zu erkennen. Wenn die in Karlsruhe vergrabenen Exposimeter nach zwei Tagen schon eine erhebliche Spurendichte aufweisen, werden die im Versuchsfeld in Rheinland-Pfalz für eine Woche ausgebrachten Exposimeter eine erheblich hö-

here Spurendichte aufweisen und müssen somit anders als Routinedetektoren geätzt werden. Zum Anderen wurden verschiedene Systeme zur Zurückhaltung der Rn-220 Konzentration und zur Verringerung des Ansprechvermögens getestet.

Die einzelnen Exposimeter wurden gegeneinander (Abb. 6-69) in die Glocken geklemmt, um ein vergleichbares Sichtfeld der einzelnen Detektoren zu erreichen.

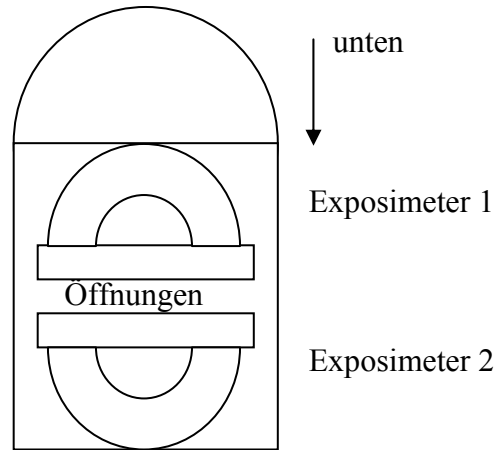


Abb. 6-69: Aufbau der Glocke für den Versuch im FZK gefüllt mit zwei Exposimetern

Wie erwartet zeigen die beiden Routine-Exposimeter mit einer Radonkonzentration von $18\,273,5\text{ Bq/m}^3$ den höchsten Wert an (Tab. 6-16). Dieser Wert wird im folgenden Vergleich als Richtwert für die Summenkonzentration von Rn-220 und Rn-222 angenommen.

Glockennummer	Aufbau des Exposimeters	Expositionsdauer [d]	Mittlere Radonkonzentration [Bq/m ³]
1	I	3	17083
	I	3	19464
Mittelwert ± Standardabweichung Aufbau I:			18273 ± 9,2 %
2	II	3	18277
	II	3	14781
Mittelwert ± Standardabweichung Aufbau II:			16529 ± 15 %
3	V	3	2119
	V	3	2290
Mittelwert ± Standardabweichung Aufbau V:			2205 ± 5,5
4	VI	3	16083
	VI	3	17905
Mittelwert ± Standardabweichung Aufbau VI:			16994 ± 7,6 %

Tab. 6-16: Ergebnisse der auf dem Gelände des FZK eingebrachten Exposimeter

Den nächst kleineren Wert von $16\,994\text{ Bq/m}^3$ zeigen wider Erwarten die Exposimeter mit dem Verschluss durch eine Aluminiumfolie an. Ein Grund könnte sein, dass die Aluminiumfolie nicht richtig dicht abgeschlossen hat und somit Rn-220 sowie Rn-222 in die Exposimeter eindringen

konnte. Diese Messung sollte wiederholt werden, allerdings mit einem Filter hinter der Aluminiumfolie, so dass die Folie besser an den Deckel des Exposimeters gedrückt wird.

Die Exposimeter mit der PE-Folie und einem Filter zeigen einen Wert von 16 529 Bq/m³ an. Wenn man hier die Einzelwerte betrachtet, ist bei diesem Aufbau mit einer Abweichung der beiden Werte von 21 % die größte Differenz zwischen den einzelnen Werten festzustellen. Hier könnte der Grund für den höheren Wert ebenfalls an Undichtigkeiten liegen.

Die Verkleinerung des Volumens bringt die größte Reduzierung des Richtwertes. Die Volumenverkleinerung bringt eine Reduzierung im Vergleich zum Wert der Routineexposimeter von 12,0 %. Eine Abweichung der zwei Einzelwerte von 5,5 % lässt auf eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse schließen.

Durch die Volumenverkleinerung kann der Messbereich von 18 000 Bq/m³ in 14 Tagen auf 150 000 Bq/m³ erweitert werden (Tab. 6-17).

Expositionszeitraum	Auswertbare mittlere Radonkonzentration
[d]	[Bq/m³]
2	1.058.000
7	300.000
14	150.000

Tab. 6-17: Maximal messbare mittlere Radonkonzentration eines Karlsruher Radonexposimeters mit Volumenverkleinerung bei einer Spurendichte von 3 000 tr/cm²

Bei den in Karlsruhe vergrabenen Exposimetern ist ebenfalls kein Einfluss von Rn-220 zu sehen.

Der Einbau von PE-Folien bzw. das Eintüten in PE-Tüten von Radonexposimeter hat nicht zum erwarteten Ergebnis geführt. Zwischen dem Exposimetern der Routineausführung und den mit Folien abgedichteten ist bei keinem der Messreihen ein signifikanter Unterschied feststellbar.

Möglicherweise ist ein Exposimeter, wenn anstelle des Filters oder unterhalb des Filters eine PE-Folie liegt, zu undicht, und die Schweißnähte der PE-Tüten ebenfalls. Dies erklärt auch das Eindringen von Radon in die, mit radondichter, aluminisierter Folie verschlossene Exposimeter.

Eine Volumenverkleinerung mit einer beschichteten Makrofolscheibe erweitert den Messbereich um das 8,3 fache, somit können innerhalb 14 Tagen bis zu 150 000 Bq/m³ mittlere Radonkonzentration gemessen werden.

Um die Messwerte besser interpretieren zu können, sollten weitere Messungen mit einer höheren Stückzahl durchgeführt werden. Ebenso wäre es sinnvoll die jahreszeitlichen Schwankungen durch mehrere Messungen in verschiedenen Jahreszeiten festzustellen.

Eine Projektarbeit für BA-Studierende soll im Jahr 2008 die offenen Fragen klären.

6.5.6 Aufbau einer Rn-220 Folientestanlage

M. Metz, S. Nagels, S. Ugi

Bei Messungen der Radon-Konzentration in Bodenluft mithilfe von Radon-Exposimetern kann ein Anteil von Radon 220 (Thoron) nicht ausgeschlossen werden. Es ist wegen seiner geringen Halbwertszeit von 56 Sekunden für die Gefährdungsbeurteilung nicht maßgeblich, kann aber die Messwertergebnisse der angebrachten Exposimeter verfälschen, da es genau wie das Radon-222 einen Messeffekt im Detektormaterial verursacht. Um es bei der Bodenluftmessung zurückzuhalten wurde im Vorfeld eine Einrichtung zur Prüfung verschiedener Folienmaterialien während einer Studienarbeit [MET07A] auf ihre Durchlässigkeit für Rn-220 errichtet. Ziel war es ein Folienmaterial zu finden, welches Rn-222 hindurch diffundieren lässt, jedoch Rn-220 zurückhält um dieses später an verschiedenen Exposimeterausführungen bei Bodenluftmessungen zu erproben. Bei der Messeinrichtung handelt es sich um ein von der Hauptwerkstatt des FZK modifiziertes Doppelkammersystem (Abb. 6-70).

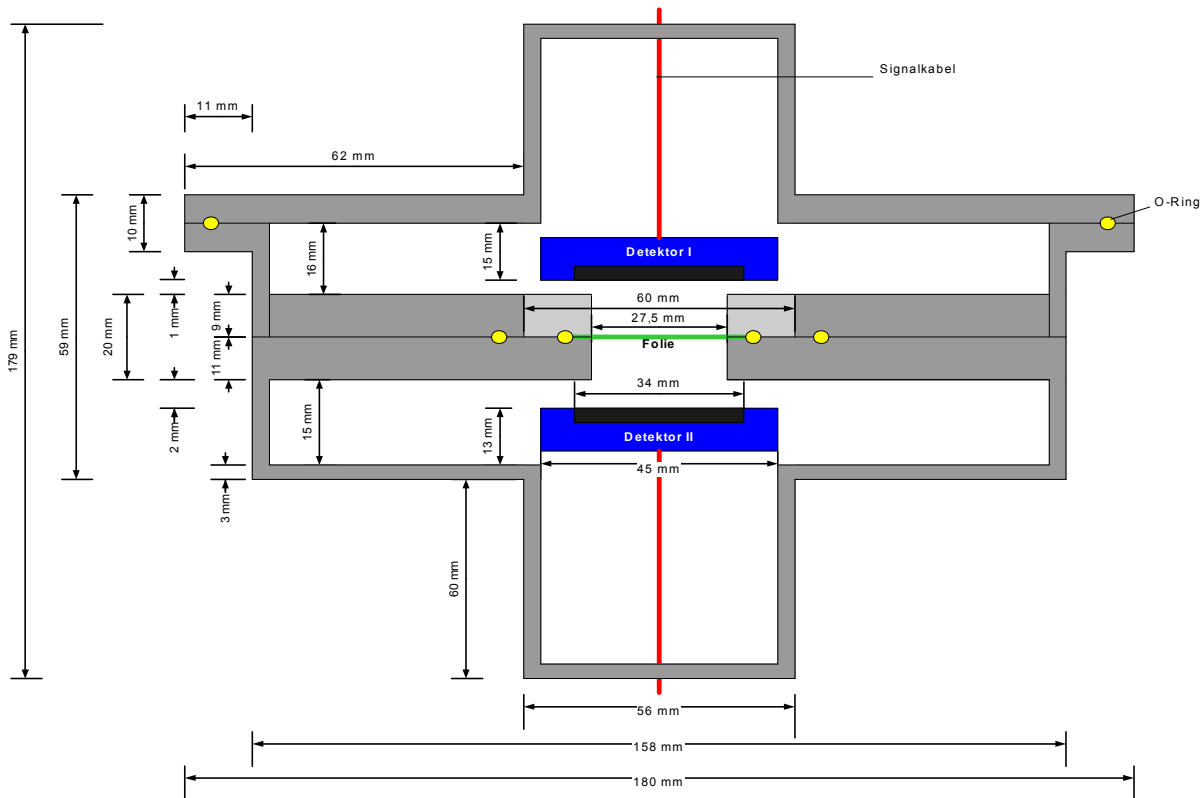


Abb. 6-70: Schnitt durch das Doppelkammersystem

Rn-220 diffundiert von der unteren Kammer durch das zu testende Folienmaterial in die obere Kammer. Die Konzentrationen in den beiden Kammern werden durch Detektoren mit guter Alphaenergieauflösung gemessen und die Werte verrechnet. Man erhält so einen Faktor K_m , der maßgebliches Auswahlkriterium für ein geeignetes Folienmaterial und die Foliendicke darstellt. Ist dieser kleiner 0,01 ist das Durchlässigkeitskriterium erfüllt. Die Messergebnisse ergaben, dass sich, wie aus folgender Tabelle ersichtlich, Polyethylen, Plexiglas und Triacetatfolie als Rn-220-Diffusionsperre eignen (Tab. 6-18).

Material und Dicke	Impulssumme Kanal 0-7000		Faktor Soll: < 0,01	Durchlässigkeitskriterium erfüllt?
	Detektor I	Detektor II		
Polyethylen 75 µm lange Messung	7 112	4 521 662	0,002	Ja
Polycarbonat 2 µm	6 138	12 725	0,482	Nein
Polycarbonat 6 µm	4 347	10 833	0,401	Nein
Polycarbonat 2 µm aluminisiert	5 643	11 486	0,491	Nein
Plexiglas 50 µm	59	14 191	0,004	Ja
Teflon 25 µm	153	10 117	0,015	Nein
Triacetatfolie 80 µm	40	12 370	0,003	Ja
Zelluloseacetat 25 µm	1 183	11 496	0,103	Nein
2 Glasfaserfilter lange Messung	596 375	2 729 119	0,219	Nein

Tab. 6-18: Ergebnisse zur Erfüllung des Durchlässigkeitskriteriums

6.5.7 Aufbau einer Rn-222 Kalibrieranlage

S. Ugi, S. Nagels, M. Urban

Für Messungen der Radonkonzentration zur Qualitätssicherung und für zukünftige Entwicklungen wurde im Rahmen der Diplomarbeit von Melanie Metz [MET07B] eine Radon-(Rn-222)-Kalibriereinrichtung für Radon-Exposimeter entwickelt.

Mit dieser ist es möglich eine bestimmte Radonkonzentration unter Kalibrierbedingungen in einem definierten Volumen bereitzustellen.

Die Anlage besteht aus einer Komponente zur Radongasbereitstellung und einer Komponente zur Exposition von Radonexposimetern.

Die Gasversorgung der Kalibriereinrichtung wird mit einer Durchfluss-Radongas-Quelle von Pylon betrieben. Das aktive Material der Quelle besteht aus einem Ra-226-Salz. Um eine konstante Radon-Atmosphäre zu erzeugen, aus der Radongas mit einer definierten Aktivitätskonzentration entnommen werden kann, wurde ein Pufferbehälter mit einem Volumen von 43 Litern installiert, dessen enthaltene Konzentration sich bei Entnahme geringer Volumina nicht signifikant ändert. Dieser ist über ein Schlauchsystem in einem Kreislauf mit der Quelle und einer Pumpe verbunden. An den Pufferkreislauf ist ein rechnergesteuertes Dosiermodul, genauer ein elektromotorisch betriebener Spritzenkolben, angeschlossen. Dieses Modul ermöglicht den Transport genau definierter Volumina in voreinstellbaren Zeitintervallen.

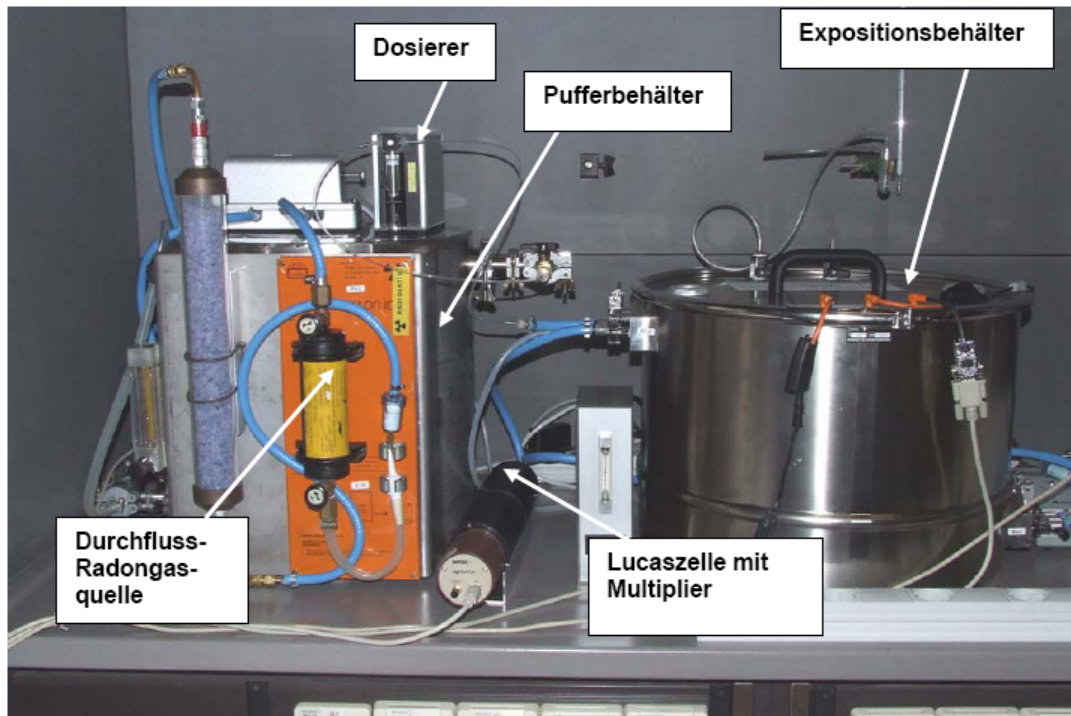


Abb. 6-71: Foto mit dem wesentlichen Teil des Versuchsaufbaus

Ein 50-Liter-Fass der Firma Genitron dient als Expositionsbehälter, das mittels eines Deckels mit Gummidichtung und Spanning verschlossen ist.

Als Monitorsysteme werden der Alphaguard und eine Lucaszelle verwendet.

Das Gerät Alphaguard ist ein tragbarer Radonmonitor, basierend auf dem verbesserten Prinzip der klassischen Pulsionskammer (Alphaspektrometrie) und dient hier als Hauptmonitorsystem. Es eignet sich zur kontinuierlichen Bestimmung der Radonkonzentration über einen sehr großen Messbereich. Mit dem zugehörigen Softwarepaket „Data-Expert“ ist es möglich Einstellungen am Alphaguard vom Rechner aus vorzunehmen und Daten herunterzuladen, zu verwalten sowie auszuwerten.

Die Lucaszelle ist ein Szintillationsdetektor und dient als Redundanz für den Alphaguard. Sie ist mittels zweier Schnellschlusskupplungen an den Fasskreislauf angeschlossen und Messergebnisse werden mit der Auswerteelektronik „Digibase“ dokumentiert.

Nach dem Durchführen von Dichtheitsprüfungen und verschiedenen Tests der einzelnen Komponenten wurden Radon-Exposimeter im Deckelbereich des Expositionsbehälters aufgehängt und sowohl mit einer konstanten als auch ansteigenden Radonkonzentration exponiert um die Messtechnik auf ihre Genauigkeit zu überprüfen.

Die Ergebnisse der Exposimeterauswertungen stimmten für beide Expositionen innerhalb 4 % mit dem mittleren Wert des Alphaguards überein. Gleichzeitig am Boden des Expositionsbehälters exponierte Exposimeter zeigten bei konstanter Radonkonzentration 10 % höhere Werte und bei ansteigender Radonkonzentration 20 % niedrigere Werte. Diese Ergebnisse legen den Verdacht nahe, dass es noch ortsabhängige Konzentrationsunterschiede innerhalb des Expositionsbehälters gibt.

Um zukünftig die Möglichkeit zu haben das gesamte Volumen des Expositionsbehälters nutzen zu können wurden weitere Monitore im Durchfluss außerhalb der Expositionskammer getestet, wobei jeweils der Alphaguard innerhalb des Behälters als Referenzmonitor herangezogen wurde.

Ein extern betriebener zusätzlicher Alphaguard außerhalb des Expositionsbehälters zeigte bei allen gemessenen Konzentrationsverläufen 6 % niedrigere Messwerte als der Referenzmonitor. Dabei sind die aktuellen Kalibrierungen der BfS berücksichtigt.

Die bei diesen Experimenten eingesetzte Lucaszelle in Kombination mit der modernen Auswertelektronik „Digibase“ zeichnet sich durch sehr leichte Handhabung aus. Optimierungsmöglichkeiten bestehen bei der Empfindlichkeit dieses Systems.

6.6 Nachwuchsförderprojekte

6.6.1 Messungen mit dem K-40 Flaschenphantom im Rahmen der Nachwuchsförderung B. Breustedt, U. Mohr, G. Cordes, N. Dollt

Zur Kalibrierung des Ganzkörperzählers stehen verschiedene Phantome zur Auswahl, so auch das K-40 Flaschenphantom. Das Phantom besteht aus einem Satz zylinderförmiger 2 l und 1 l Kautexflaschen. Diese sind mit im Wasser gelösten Kaliumsalz gefüllt und enthalten so auch K-40, welches zu 0,0117 % Bestandteil des natürlichen Kaliums ist. K-40 wird über Gammazerfall bei 1461 keV im Ganzkörperzähler nachgewiesen. Über die gelöste Kaliummenge (2 g K / 1000 g Wasser) ist die im Phantom enthaltene Kalium Aktivität bekannt. Mit Hilfe des K-40 Phantoms können Probanden mit unterschiedlichem Körpergewicht von 10 – 100 kg simuliert werden.

Das K-40 Flaschenphantom wird im Ganzkörperzähler zu Kalibrierzwecken und zur Qualitätssicherung eingesetzt.



Abb. 6-72: Flaschenphantom K-40 in Standardmessposition im Ganzkörperzähler

Im April 2007 nahm das In-vivo Messlabor zum ersten Mal am Girls' Day teil. Dieser Tag wurde geschaffen, um Schülerinnen einen Tag lang Einblick in technische und naturwissenschaftliche Berufe zu geben. Teilnehmen dürfen an diesem Tag Schülerinnen der 5 – 10. Klasse. Auf diese Weise möchte man erreichen, dass mehr gut ausgebildete Frauen einen technischen Beruf in Betracht ziehen. Das In-vivo Messlabor wurde von 4 Schülerinnen besucht.

Sie erhielten eine kurze Einführung in die Aufgaben und Tätigkeiten des In-vivo Messlabors, jede Schülerin wurde im Ganzkörperzähler untersucht und durfte danach praktisch tätig werden. Die Schülerinnen bauten das K-40 Flaschenphantom nach vorhandenen Bauplänen auf und bestimmten danach mit Hilfe der Messsoftware und Unterstützung des Personals des In-vivo Messlabors die gemessene Aktivität im Phantom und verglichen diese mit der berechneten Aktivität.

Im Oktober 2007 machten zwei Schüler einer 10. Gymnasialklasse ein einwöchiges Praktikum im In-vivo Messlabor. Das Praktikum fand im Rahmen der Berufs- und Studienorientierung im Gymnasium (BOGY) statt. Die Schüler lernten den Routinebetrieb im In-vivo Messlabor kennen und konnten an zwei Tagen selbst praktisch tätig werden. Sie bauten das K-40 Flaschenphantom in unterschiedlichen Konfigurationen auf, führten Messserien mit dem Phantom durch und bestimmten die K-40 Aktivität. Danach erstellten sie eine EXCEL Tabelle, bestimmten die Abweichung von Soll- bzw. Referenzwert und errechneten die Standardabweichung als Maß für die Präzision des Messverfahrens. Die Schüler erhielten so einen praktischen Einblick in technisches und wissenschaftliches Arbeiten. Die Ergebnisse der Arbeiten können im In-vivo Messlabor als erfolgreich durchgeführte Eigenkontrolle (Kontrolle der Richtigkeit und Präzision nach der Richtlinie für die Physikalische Strahlenschutzkontrolle) verwendet werden.

7 Umweltschutz

7.1 Betriebsbeauftragte im Umweltschutz

J. Brand, K. Dettmer

Das Forschungszentrum Karlsruhe ist gesetzlich verpflichtet, Betriebsbeauftragte für Abfall, für Gewässerschutz, für Immissionsschutz sowie einen Gefahrgutbeauftragten zu bestellen. Die Aufgaben dieser Betriebsbeauftragten wurden im Berichtsjahr durch zwei Mitarbeiter der Abteilung „Technisch administrative Beratung und Genehmigungen“ wahrgenommen. Jeweils in Personalunion erfüllen der Gefahrgut- und Abfallbeauftragte sowie der Gewässerschutz- und Immissionsschutzbeauftragte die gesetzlichen Anforderungen, die sich insbesondere aus dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG), der Gefahrgutbeauftragtenverordnung (GbV), dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ergeben. Die Beauftragten sind organisatorisch der Hauptabteilung Sicherheit (HS) zugeordnet, so dass neben der organisatorischen Unabhängigkeit von den operativen Betriebsbereichen auch der rechtlichen Forderung nach Zusammenarbeit im Arbeits- und Umweltschutzbereich Rechnung getragen werden kann. Innerhalb der Abteilung „Technisch administrative Beratung und Genehmigungen“ sind die Umweltschutzbeauftragten darüber hinaus eng in genehmigungsrelevante Vorhaben des Forschungszentrums eingebunden.

Zu den rechtlich vorgeschriebenen Aufgaben der Betriebsbeauftragten im Umweltschutz gehören vorwiegend Beratungs- und Kontrolltätigkeiten sowie Überwachung, Information und Dokumentation. Zusätzlich werden von den Umweltschutzbeauftragten die wiederkehrenden Prüfungen innerhalb des Zentrums überwacht sowie bestimmte Aufgaben im Hinblick auf die Umsetzung der chemikalienrechtlichen Anforderungen, insbesondere der Gefahrstoffverordnung wahrgenommen.

7.1.1 Gefahrgutbeauftragter

J. Brand

Das Forschungszentrum Karlsruhe ist an der Beförderung gefährlicher Güter auf öffentlichen Verkehrswegen in mehrfacher Hinsicht beteiligt. Es sind vor allem die gesetzlichen Pflichten für die Transportvorbereitung (als Auftraggeber, Absender bzw. Versender, Verpacker, Befüller und Verlader) und für die Transportnachbereitung (Empfänger) wahrzunehmen. Die Beförderungen finden im Straßen-, Schienen- und im Luftverkehr, gelegentlich auch im Seeverkehr statt. Regelmäßig werden gefährlicher Güter fast aller Klassen³ versendet und empfangen, mit Ausnahme von Explosivstoffen der Klasse 1 und von ansteckungsgefährlichen Stoffen der Klasse 6.2.

Die Aufgaben des Forschungszentrums im Zusammenhang mit der Gefahrgutbeförderung wurden organisatorisch unterteilt in

- den Umschlag von (nicht-radioaktiven) Gefahrgütern als Produkte
- den Umschlag von (nicht-radioaktiven) gefährlichen Abfällen und

³ Gefahrgüter werden nach der Art ihrer Gefährlichkeit in 9 Klassen eingeteilt. Diese Gefahrgutklassen sind verkehrsträgerübergreifend weitgehend harmonisiert und in den jeweiligen verkehrsträgerspezifischen Vorschriften beschrieben, z.B. in Teil 2 des ADR bzw. RID für den Straßen- bzw. Schienenverkehr, in Kapitel 2 der ICAO-TI und in Abschnitt 3 der IATA-DGR für den Luftverkehr sowie in Teil 2 des IMDG-Codes für den Seeverkehr.

- den Umschlag radioaktiver Gefahrgüter der Klasse 7.

Die Beförderung von Gütern der Klasse 7 ist aufgrund der besonderen Eigenschaft radioaktiver Stoffe und der Überschneidung von umgangs- und transportrechtlichen Anforderungen an besondere technische und organisatorische Voraussetzungen geknüpft. In erster Linie sind davon die materiellen Verpackungs- und Versandanforderungen betroffen. Darüber hinaus erfordert die Vorbereitung und Nachbereitung einer Radioaktivbeförderung die enge Zusammenarbeit von Versand-, Verlade- bzw. Empfangspersonal mit dem Personal des operativen Strahlenschutzes.

Aufgrund des großen Umfangs und der erheblichen Änderungsdynamik der gefahrgutrechtlichen Vorschriften wurden im Forschungszentrum alle Tätigkeiten, die mit der Beförderung gefährlicher Güter zusammenhängen, auf wenige ausgewiesene Organisationseinheiten bzw. Abteilungen konzentriert. Dies ist nicht zuletzt aufgrund der hohen rechtlichen und sicherheitstechnischen Anforderungen und der notwendigen umfangreichen Fachkenntnisse des am Gefahrguttransport beteiligten Personals sowie dem damit verbundenen Informations- und Schulungsbedarf sinnvoll. Darüber hinaus werden die wissenschaftlich tätigen Mitarbeiter in den Instituten von der Anwendung der komplexen Gefahrgutvorschriften – allein das internationale Regelwerk für den Straßenverkehr ADR⁴ hat einen Umfang rund 1000 Seiten Papier – weitgehend entlastet.

Die Abfertigung aller Sendungen von radioaktiven Gefahrgütern der Klasse 7 wird durch die Beförderungsleitstelle der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) wahrgenommen. Die Beförderungsleitstelle organisiert und koordiniert die Versandvorbereitungen und stellt die Einhaltung der das Forschungszentrum betreffenden Pflichten der Gefahrgutvorschriften sicher. Alle Organisationseinheiten, die radioaktive Stoffe versenden wollen, sind angewiesen, dies über die Beförderungsleitstelle der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe durchzuführen. Auch bei der Entgegennahme von angelieferten Radioaktivsendungen ist die Beförderungsleitstelle einzubinden. Hierzu liegen verbindlich anzuwendende Verfahrensanweisungen vor.

Für Beförderungen radioaktiver Stoffe, die vom Forschungszentrum ausgehen, werden zuverlässige Transportunternehmen mit – sofern erforderlich – entsprechender Beförderungsgenehmigung beauftragt. Insgesamt wurden von der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) für das Forschungszentrum 42 und für eigene Zwecke 113 An- und Abtransporte über die Verkehrsträger Straße und Schiene abgefertigt (teilweise mit anschließendem bzw. vorausgegangenem Lufttransport). Als Transportmittel wurden auf der Straße Lkw, Pkw, Kleintransporter bzw. Container und auf der Schiene Eisenbahnwagen und Container eingesetzt.

Der Transport radioaktiver Stoffe innerhalb des Betriebsgeländes ist durch die interne Transportordnung (ITO) geregelt. Diese ist Bestandteil der atomrechtlichen Genehmigung des Forschungszentrums nach § 9 Abs. 1 AtG.

Die Beförderungsvorbereitung und der Versand nicht-radioaktiver Gefahrgüter als Produkte findet durch die Versandstelle der Hauptabteilung Einkauf- und Materialwirtschaft (EKM-MW) statt, während die entsprechenden Tätigkeiten bei nicht-radioaktiven Abfällen als gefährliche Güter durch die Abfallwirtschaftszentrale (BTI-V) des Forschungszentrums wahrgenommen werden. Der Empfang von Gefahrgut erfolgt über den Wareneingang beim Chemikalienlager. Von dort werden die Güter in den Originalverpackungen unterschiedlicher Größe innerbetrieb-

⁴ ADR = Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route (Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße)

lich weitertransportiert und verteilt. Eingehende Tanktransporte und Anlieferungen von Druckgasflaschen bedienen direkt die Entladeeinrichtungen bei den Organisationseinheiten.

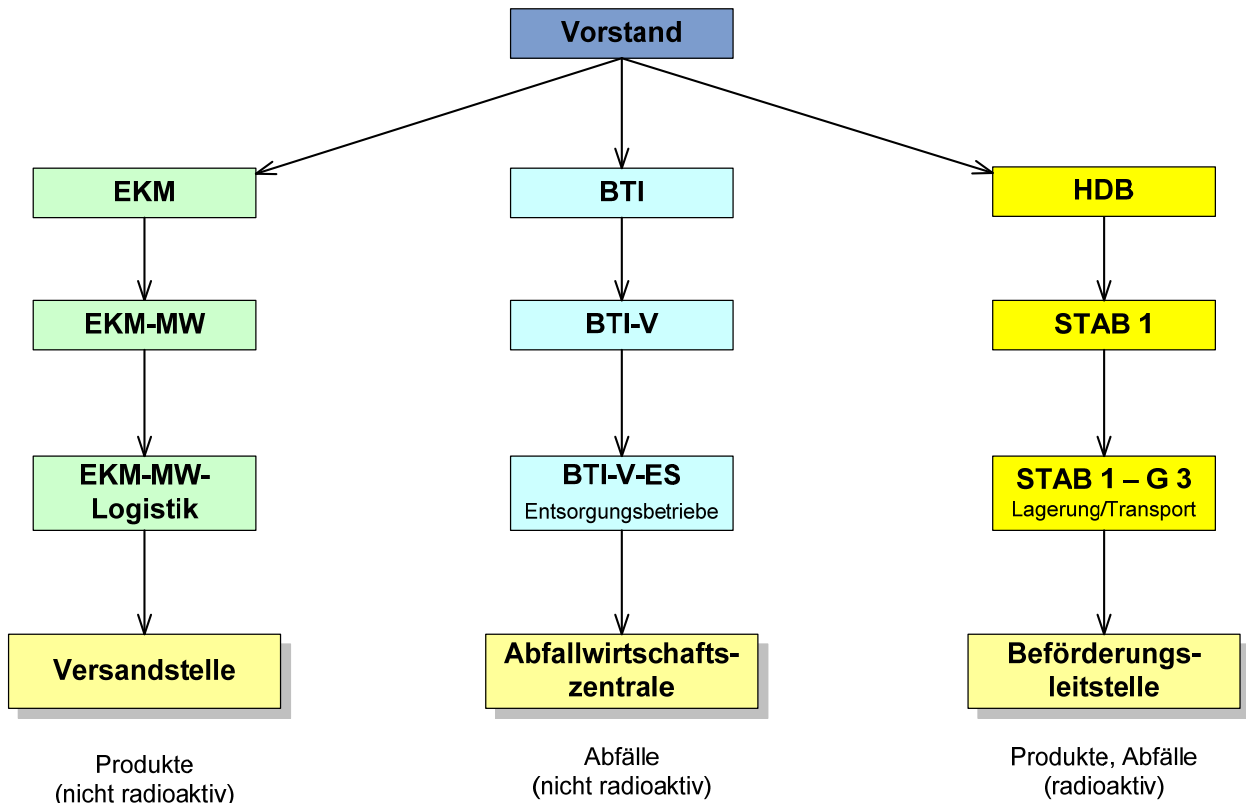


Abb. 7-1: Organisation des betrieblichen Gefahrgutumschlags im Forschungszentrum

Im Berichtsjahr wurden rund 200 Antransporte von Gasen in Druckbehältern oder in Tankfahrzeuge und anschließendem Abtransport von leeren ungereinigten Gefäßen oder Tankfahrzeugen (ebenfalls Gefahrguttransporte) abgewickelt. Hinzu kamen etwa 90 Anlieferungen sowie 19 ausgehende Sendungen von Feinchemikalien und technischen Chemikalien. Heizöl wurde 2007 nicht angeliefert. Über die Abfallwirtschaftszentrale wurden 36 Beförderungen von gefährlichen Abfällen (als Gefahrgut) durchgeführt. Insgesamt wurden rund 2000 Mg nicht-radioaktiver Gefahrgüter umgeschlagen.

Neben den Beförderungen, die das Forschungszentrums betreffen, finden über das Betriebsgelände am Standort Eggenstein-Leopoldshafen Aus- bzw. Anlieferungen von Gefahrgutsendungen für die stationären Fremdfirmen, insbesondere für das Institut für Transurane (ITU), die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungs-GmbH (WAK) und die Zyklotron Karlsruhe AG (ZAG) statt.

Im Berichtszeitraum kam es weder zu Unfällen, noch zu sicherheitsrelevanten besonderen Ereignissen. Insgesamt wurden rund 100 Einzeltvorgänge zum Gefahrgutumschlag durch den Gefahrgutbeauftragten kontrolliert. Festgestellte Mängel bei der Anlieferung bzw. Annahme radioaktiver Stoffe bei der Beförderungsleitstelle bzw. bei nicht-radioaktiven Gefahrgütern bei EKM-MW (Wareneingang) sowie bei der Beförderung gefährlicher Abfälle durch Fremdfirmen waren zu meist formaler Art. Diese Mängel wurden jeweils unmittelbar den Verantwortlichen der Absender, Lieferanten, Speditionen oder Beförderer mit der Maßgabe zur Beseitigung mitgeteilt sowie intern kommuniziert.

Insgesamt gab es wiederum wenig Anlass zu Beanstandungen. Allgemein ist ein hohes Sicherheitsniveau festzustellen, das zurückgeführt werden kann auf eine zentrale und übersichtliche

Gefahrgutorganisation mit eindeutigen Zuweisungen von Zuständigkeiten, die intensive Beratungstätigkeit und Informationsvermittlung, sowie eine funktionierende Zusammenarbeit der Verantwortlichen (beauftragte Personen) und der ausführenden Mitarbeiter mit dem Gefahrgutbeauftragten.

Die ein- und ausgehenden Beförderungen gefährlicher Güter werden durch die beauftragten Personen und deren Mitarbeiter anhand von Checklisten überprüft. Teilweise umfassen die Checklisten auch Kontrollpunkte, die nicht nur den rechtlichen Pflichten und Kontrollvorgaben genügen, sondern im Rahmen der Erfüllung allgemeiner Sorgfaltspflichten über die spezifischen Absender- oder Verladepflichten hinausgehen. Auch im Berichtszeitraum wurden die Dokumente und Kontrolllisten für die Annahme und den Abtransport radioaktiver Stoffe sowie für nicht-radioaktive Gefahrgüter den rechtlichen und betrieblichen Belangen ständig angepasst.

Die Aufbauorganisation zur Beteiligung des Forschungszentrums an der Beförderung gefährlicher Güter sowie die festgelegten Abläufe werden regelmäßig im Jahresbericht des Gefahrgutbeauftragten dokumentiert. Die Ablauforganisation ist überwiegend in Arbeits- und Verfahrensanweisungen festgeschrieben. Soweit keine besonderen Verfahrens- und Arbeitsanweisungen zur Gefahrgutbeförderung existieren, ist die Organisation in Strahlenschutz- bzw. sonstigen Arbeitsanweisungen eingearbeitet.

Auf Grund der sich permanent ändernden Vorschriften für die Beförderung gefährlicher Güter im Straßen-, Schienen- und Luftverkehr verfolgt der Gefahrgutbeauftragte eine intensive Beratungs-, Informations- und Schulungstätigkeit. Aufgrund der zahlreichen Änderungen in den relevanten Vorschriften wurden im Berichtszeitraum alle am Gefahrgutumschlag beteiligten Mitarbeiter der Abfallwirtschaftszentrale (BTI-V-AF), von EKM, HS-ÜM sowie der HDB tätigkeitsbezogen geschult und auf die künftigen gefahrgutrechtlichen Anforderungen vorbereitet.

Die ständigen Änderungen und Neuerungen der Regelungen zum Gefahrguttransport werden auch künftig eine intensive Informationsvermittlung und Beratung erfordern. Das Ziel ist dabei nach wie vor, bei allen am Gefahrgutumschlag beteiligten Mitarbeitern ein hohes Maß an Fachwissen und darüber hinaus einen Diskussionsrahmen für auftretende Fragestellungen aller Art im Zusammenhang mit dem Gefahrgutumschlag zu gewährleisten.

7.1.2 Betriebsbeauftragter für Abfall

J. Brand

Der Vollzug und die Umsetzung der Vorschriften des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) sowie des nach wie vor expandierenden untergesetzlichen Regelwerkes standen weiterhin im Vordergrund der Tätigkeiten zur Abfallwirtschaft. Von besonderer Bedeutung waren hierbei

- die Bearbeitung von Fragestellungen zur Abgrenzung zwischen Abfall und Produkt sowie zwischen Verwertung und Beseitigung,
- die Überprüfung der Abfallbestimmung nach der europäischen Abfallnomenklatur und der Abfallverzeichnisverordnung,
- die Verfolgung der Entsorgungswege, auch für Abfälle, die von Lieferanten auf Grund einer Rücknahmeverordnung oder auf freiwilliger Basis zurückgenommen werden,
- die verwaltungstechnischen Abläufe zu den Nachweisverfahren insbesondere zum Verbleib der gefährlichen Abfälle sowie
- die Umsetzung der neueren abfallspezifischen Rechtsvorschriften.

Die Organisation der Kreislauf- und Abfallwirtschaft des Forschungszentrums, mit der Übertragung nahezu aller abfallrechtlich geforderten Pflichten und der damit zusammenhängenden Auf-

gaben und auf die Abfallwirtschaftszentrale (Bereich Technische Infrastruktur – Ver- und Entsorgung – BTI-V-AF), hat sich hierbei erneut in besonderer Weise bewährt. Das dort beschäftigte, fachkundige Personal bewältigt die gestellten Aufgaben, nicht zuletzt auch auf Grund der intensiven Zusammenarbeit mit dem Betriebsbeauftragten für Abfall, effektiv und ökonomisch. Die zentrale Abwicklung aller Entsorgungsmaßnahmen durch die Mitarbeiter der Abfallwirtschaftszentrale vereinfacht die innerbetrieblichen Abläufe erheblich. Gleichzeitig bleibt der innerbetriebliche Aufwand für die Abfallentsorgung trotz zunehmender rechtlicher Anforderungen auf das notwendige Maß beschränkt. Nicht zuletzt dient die Fokussierung der abfallrechtlichen Pflichten des Forschungszentrums auf eine Organisationseinheit der notwendigen Rechtssicherheit im Bereich unserer betrieblichen Abfallwirtschaft. Die Art und Menge der im Berichtszeitraum entsorgten (nicht-radioaktiven) Abfälle des Forschungszentrums sind nach den Entsorgungsarten Beseitigung und Verwertung in nachstehenden Tabellen aufgeführt.

Abfallbezeichnung	Abfallschlüssel-Nr.	Menge [Mg]
Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 06 05 02 fallen (Kläwerk-Chemieschlamm)	06 05 03 (ng)	22,500
Tonerabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 08 03 17 fallen (Verbraucher Toner)	08 03 18 (ng)	0,014
Gebrauchte anorganische Chemikalien, die aus gefährlichen Stoffen bestehen oder solche enthalten (Druckbehälter mit anorganischer Flüssigkeit)	16 05 07 (g)	0,045
Gebrauchte anorganische Chemikalien, die aus gefährlichen Stoffen bestehen oder solche enthalten (Laborchemikalien)	16 05 07 (g)	0,146
Gebrauchte organische Chemikalien, die aus gefährlichen Stoffen bestehen oder solche enthalten (Laborchemikalien)	16 05 08 (g)	0,012
Beton (Bauschutt mit Freigabe zur Beseitigung nach § 29 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV)	17 01 01 (ng)	66,420
Anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält (Mineralfaserabfälle)	17 06 03 (g)	9,401
Asbesthaltige Baustoffe	17 06 05 (g)	55,350
Gemischte Siedlungsabfälle (hausmüllähnliche Gewerbeabfälle)	20 03 01 (ng)	358,620
Summe		512,508

(g) gefährliche Abfälle; (ng) nicht gefährliche Abfälle

Tab. 7-1: Abfälle zur Beseitigung 2007

Abfallbezeichnung	Abfallschlüssel-Nr.	Menge [Mg]
Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung (Fettabscheiderinhalte)	02 02 04 (ng)	52,500
Sägemehl, Späne, Abschnitte, Holz, Spanplatten und Furniere mit Ausnahme derjenigen, die unter 03 01 04 fallen (Sägespäne)	03 01 05 (ng)	1,600

Abfallbezeichnung	Abfallschlüssel-Nr.	Menge [Mg]
Andere Säuren (anorganische Säuren, Säuregemische, Beizen)	06 01 06 (g)	23,139
Halogenorganische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen (Lösemittelgemische)	07 01 03 (g)	4,672
Andere organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen (halogenfreie Lösungsmittel)	07 07 04 (g)	0,587
Wässrige Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen (sonstige Konzentrate und Halbkonzentrate)	07 07 01 (g)	3,343
Farb- und Lackabfälle, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten (Altfarben, Altlacke)	08 01 11 (g)	0,898
Tonerabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 08 03 17 fallen (Tonerkartuschen)	08 03 18 (ng)	0,686
Entwickler und Aktivatorlösungen auf Wasserbasis	09 01 01 (g)	0,573
Fixierbäder	09 01 04 (g)	0,403
Filme und fotografische Papiere, die Silber oder Silberverbindungen enthalten (Filmabfälle)	09 01 07 (ng)	0,152
Saure Beizlösungen	11 01 05 (g)	18,184
Halogenfreie Bearbeitungsemulsionen und -lösungen (Bohr- und Schleifölemulsionen)	12 01 09 (g)	11,799
Strahlmittelabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 12 01 16 fallen	12 01 17 (ng)	17,580
Nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis (Altöl, mineralisch)	13 02 05 (g)	21,649
Abfallgemische aus Sandfanganlagen und Öl-/Wasserabscheidern (Abfallgemische aus Sandfanganlage)	13 05 08 (g)	14,301
Verpackungen aus Metall (Leergebinde)	15 01 04 (ng)	1,040
Gemischte Verpackungen (Styropor)	15 01 06 (ng)	0,800
Gemischte Verpackungen („Grüner Punkt“)	15 01 06 (ng)	22,220
Verpackungen, die Rückstände gefährlicher Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind (Kunststoffbehälter)	15 01 10 (g)	1,407
Verpackungen, die Rückstände gefährlicher Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind (Metallbehälter, ohne Druckgaspackungen)	15 01 10 (g)	0,973
Aufsaug- und Filtermaterialien (einschließlich Ölfilter a.n.g.), Wischtücher und Schutzkleidung, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind (mit Öl verunreinigte Betriebsmittel)	15 02 02 (g)	4,400
Altreifen (Altreifen)	16 01 03 (ng)	5,020

Abfallbezeichnung	Abfallschlüssel-Nr.	Menge [Mg]
Bremsflüssigkeiten	16 01 13 (g)	0,036
Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten	16 01 14 (g)	0,956
Gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen (Elektronikschrott)	16 02 14 (ng)	43,674
Gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen (Großgeräte)	16 02 14 (ng)	10,501
Gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen (Magnetbänder)	16 02 14 (ng)	0,232
Gefährliche Stoffe enthaltende Gase in Druckbehältern (einschließlich Halonen)	16 05 04 (g)	0,098
Bleibatterien (Bleiakkumulatoren)	16 06 01 (g)	3,658
Alkalibatterien (außer 16 06 03) (Trockenbatterien)	16 06 04 (ng)	1,734
Beton (Bauschutt)	17 01 01 (ng)	1347,911
Glas (Fensterglas)	17 02 02 (ng)	1,780
Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind (Holz)	17 02 04 (g)	0,380
Kohlenteerhaltige Bitumengemische (Asphalt)	17 03 01 (g)	20,650
Bitumengemische mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 03 01 fallen (Straßenaufbruch, teerfrei)	17 03 02 (ng)	860,150
Kohlenteer und teerhaltige Produkte (teerhaltige Materialien)	17 03 03 (g)	9,9790
Kabel mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 04 10 fallen (Kupferkabelabfälle)	17 04 11 (ng)	2,160
Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03 fallen (Erdaushub)	17 05 04 (ng)	382,800
Anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält (Mineralfaserabfälle)	17 06 03 (g)	20,217
Baustoffe auf Gipsbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 08 01 fallen (Leichtbaustoffe)	17 08 02 (ng)	58,880
Gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 09 01, 17 09 02 und 17 09 03 fallen	17 09 04 (ng)	110,952
Sieb- und Rechenrückstände (Kanal- und Sielabfälle)	19 08 01 (ng)	27,060
Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser (Klärschlamm)	19 08 05 (ng)	124,260
Papier und Pappe (Datenschutzpapier)	20 01 01 (ng)	64,910
Papier und Pappe (Altpapier)	20 01 01 (ng)	273,480
Glas (Flach,- Gewerbe- und Laborglas)	20 01 02 (ng)	19,393
Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltige Abfälle	20 01 21 (g)	0,889

Abfallbezeichnung	Abfallschlüssel-Nr.	Menge [Mg]
Gebrauchte Geräte, die Fluorchlorkohlenwasserstoffe enthalten (Kühlschränke)	20 01 23 (g)	2,141
Gebrauchte elektrische und elektronische Geräte, die gefährliche Bauteile enthalten, mit Ausnahme derjenigen, die unter 20 01 21 und 20 01 23 fallen (Bildschirme)	20 01 35 (g)	21,143
Holz mit Ausnahme desjenigen, das unter 20 01 37 fällt	20 01 38 (ng)	149,911
Kunststoffe (PVC)	20 01 39 (ng)	22,943
Kunststoffe (PE, sortenrein)	20 01 39 (ng)	0,032
Kunststoffe (Polyurethan, Schaumstoffe)	20 01 39 (ng)	0,010
Kunststoffe (Styropor)	20 01 39 (ng)	1,580
Metalle (Metallschrott)	20 01 40 (ng)	389,533
Kompostierbare Abfälle (Gras- und Sträucher)	20 02 01 (ng)	172,800
Straßenkehrriecht	20 03 03 (ng)	8,060
Summe		4362,819

(g) gefährliche Abfälle; (ng) nicht gefährliche Abfälle

Tab. 7-2: Abfälle zur Verwertung 2007

Nach wie vor zeigte sich, dass durch eine gewissenhafte Sortierleistung bei der Abfallerfassung qualitativ hochwertige und wirtschaftliche Verwertungswege eingeschlagen werden können. Die Umsetzung der umfangreichen abfallrechtlichen Anforderungen erfordert regelmäßig einen hohen Aufwand für den Informationsaustausch und für die Kommunikation mit den internen Abfallverursachern, den externen Entsorgern und Behörden.

Die Durchführung des abfallrechtlich vorgeschriebenen Nachweisverfahren zur Überwachung der Abfallströme im Verbund mit dem Forschungszentrum als Abfallerzeuger, den Beförderern, Entsorgern und Behörden erfolgt routinemäßig und nahezu problemlos. Dies ist nicht zuletzt auch auf die zentrale Zuständigkeit der Sonderabfallagentur (SAA) in Baden-Württemberg für die verwaltungsmäßige Überwachung der Abfallströme zurückzuführen. Kleinere interne Kommunikationsstörungen, insbesondere beim Datenfluss im Zusammenhang mit der Abgabe von Abfällen durch die Organisationseinheiten sowie bei der gelegentlichen Anlieferung von Sonderabfällen, die ausschließlich zu Forschungszwecken eingesetzt werden, konnten zügig behoben werden.

Im Berichtszeitraum wurden die Rechtsvorschriften zur abfallrechtlichen Überwachung und insbesondere zur Nachweisführung umfassend geändert. Schwerpunkte der größeren Rechtsänderung waren insbesondere die Umwandlung des bisherigen dreistufigen Überwachungsmerkmals von Abfällen (besonders überwachungsbedürftig – überwachungsbedürftig – nicht überwachungsbedürftig) in eine zweistufige Nomenklatur (gefährlich – nicht gefährlich). Damit einher ging die Vereinfachung des Nachweisrechts. Seit 01.02.2007 gibt es nur noch die Nachweispflicht für gefährliche Abfälle, die gesetzliche (vereinfachte) Nachweisführung für bislang überwachungsbedürftige Abfälle ist entfallen. Allerdings wurde die bisherige Archivierungspflicht (Nachweisbuch) als Entsorgungsregister auf alle Abfälle erweitert. Aus diesem Grund müssen weiterhin alle Abfälle des Forschungszentrums Karlsruhe beschrieben und deklariert sowie intern bilanziert werden.

Für alle gefährlichen Abfälle des Forschungszentrums werden eigene Entsorgungsnachweise geführt, soweit diese nicht über Sammelentsorgungsnachweise entsorgt werden. Eine Ausnahme bilden lediglich Abfälle, die bei der Rücknahme ge- bzw. verbrauchter Produkte als gefährliche Abfälle zur Verwertung oder Beseitigung (z.B. Altbatterien oder Altchemikalien) entsorgt werden. So ist bei einer Rücknahme- oder Rückgabepflicht nach § 24 KrW-/AbfG (z. B. durch BattV) bzw. bei freiwilliger Rücknahme nach § 25 Abs. 2 KrW-/AbfG keine Nachweisführung für den Abfallerzeuger erforderlich. Unabhängig davon wird der Verbleib dieser Abfallströme durch den Abfallbeauftragten überwacht.

Im Berichtszeitraum kam es weder zu Unfällen noch zu Zwischenfällen, bei denen Personen oder die Umwelt im Zusammenhang mit der Sammlung, dem Umschlag und der Entsorgung von Abfällen zu Schaden kamen oder die Abfallentsorgung grob fehlerhaft durchgeführt wurde. Auch waren keinerlei behördliche Beanstandungen oder rechtliche Sanktionen hinzunehmen bzw. abzuwehren.

Die mit der Abfallsatzung 2004 grundlegend geänderten Entsorgungsmodalitäten von gewerblichen Siedlungsabfällen (hausmüllähnlicher Gewerbeabfall) über ein elektronisch gesteuertes Abholssystem (Behälter-Chipsystem) im Rahmen einer Entsorgungsvereinbarung zwischen dem Forschungszentrum und dem Abfallwirtschaftsbetrieb des Landkreises verläuft mittlerweile zufriedenstellend. Abgesehen von immer wieder auftretenden Unstimmigkeiten im Hinblick auf die Abrechnungspraxis kann man von einer routinemäßigen Abholung der Gewerbeabfälle durch den Landkreis sprechen.

Vereinzelt gab es Anlässe, Mitarbeiter auf die Einhaltung der internen Abfallregelungen hinzuweisen. Dies betraf insbesondere die Nichtbeachtung von Sortiervorgaben an den betrieblichen Sammelstellen. Insbesondere bei den Abfallcontainern für die Sammlung von Metallabfällen bei der Hauptwerkstatt sind trotz der vorgenommenen Maßnahmen zur Verminderung von unbeabsichtigten oder beabsichtigten Fehlwürfen regelmäßige Kontrollen unumgänglich.

Darüber hinaus mussten erneut Defizite bei der Sammlung und Sortierung von Fremdfirmenabfällen im Zusammenhang mit Bautätigkeiten auf dem Betriebsgelände beanstandet und mit den Bauleitungen bzw. Projektverantwortlichen kommuniziert werden. Der Umgang mit Abfällen von Fremdfirmen auf dem Betriebsgelände des Forschungszentrums ist durch die Baustellenordnung klar geregelt. Dennoch entsprach der Zustand der Abfallsammeleinrichtungen der Fremdfirmen in einigen Fällen nicht den Standards des Forschungszentrums. Die Vertragsmodalitäten wurden entsprechend angepasst.

Der Einsatz des neu eingeführten EDV-Moduls „Waste Management“ zum Programmsystem SAP EH&S für die innerbetriebliche Abfalldatenverwaltung verläuft weitgehend zufriedenstellend. Im Hinblick auf die ab April 2010 gesetzlich geforderte elektronische Nachweis- und Registerführung sowie die dazu erforderliche ausschließlich elektronische Kommunikation mit Beförderern, Entsorgern und Behörden im abfallrechtlichen Nachweisverfahren liegen die grundsätzlichen Voraussetzungen der Datenverarbeitung im Forschungszentrum vor. Im Verlauf der weiteren Übergangsfrist müssen noch die standardisierten Übermittlungswege (Datenschnittstellen, Signaturmöglichkeit, ggf. Übertragungssoftware) geschaffen werden.

Die neuen innerbetrieblichen Regelungen zur Abfallwirtschaft wurden im Berichtszeitraum als „Ordnung der Kreislaufwirtschaft und Abfallbeseitigung im Forschungszentrum Karlsruhe (Abfallordnung)“ 2007 durch den Vorstand verbindlich eingeführt. Wie bisher wird auch in den neuen Regelungen verlangt, dass alle durch das Forschungszentrum verursachten Abfälle einer Zentralstelle (Abfallwirtschaftszentrale) zu überlassen bzw. anzudienen sind. Diese ist verpflichtet, alle Abfälle ordnungsgemäß zu entsorgen oder entsorgen zu lassen. Die besondere Bedeutung der Kontaktpersonen zum Betriebsbeauftragten für Abfall im Hinblick auf die Vermittlung der abfallwirtschaftlichen Grundsätze sowie zur Optimierung der Abfallwirtschaft bei den Instituten

bzw. Organisationseinheiten, ist in der neuen Abfallordnung ausdrücklich herausgestellt. Auf der Grundlage der Abfallordnung 2007 mussten im Berichtszeitraum alle Organisationseinheiten die Kontaktpersonen neu und ausdrücklich benennen.

7.1.3 Betriebsbeauftragter für Immissionsschutz

K. Dettmer

Das Forschungszentrum Karlsruhe betreibt mehrere immissionsschutzrechtlich relevante Anlagen, die teilweise der Genehmigungspflicht nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) unterliegen. Die genehmigungsbedürftigen Anlagen sind für den betrieblichen Immissionsschutz von besonderer Bedeutung. Es handelt sich dabei um die Verbrennungsanlage der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB), die Verbrennungsanlage TAMARA und die Verbrennungsanlage THERESA des Instituts für Technische Chemie, das Abfallzwischenlager sowie das Fernheizwerk mit Blockheizkraftwerk.

Für die drei Verbrennungsanlagen sowie das Abfallzwischenlager fordert der Gesetzgeber die Bestellung eines Immissionsschutzbeauftragten. Die Tab. 7-3 zeigt den im Berichtszeitraum vorliegenden Genehmigungsstatus der Anlagen.

Anlage	Immissionsschutzbeauftragter zu bestellen gemäß Anhang zur 5. BImSchV	Genehmigung
Abfallzwischenlager	Ziffer 44	Anzeige nach § 67 BImSchG
Verbrennungsanlage der HDB	Ziffer 38	Genehmigung nach §§ 4 ff. BImSchG
Verbrennungsanlage TAMARA	Ziffer 38	Genehmigung nach §§ 4 ff. BImSchG
Verbrennungsanlage THERESA	Ziffer 38	Genehmigung nach §§ 4 ff. BImSchG
Fernheizwerk mit Blockheizkraftwerk	-	Änderungsgenehmigung nach § 15 BImSchG

Tab. 7-3: Immissionsschutzrechtlich genehmigungspflichtige Anlagen des Forschungszentrums

Die Verbrennungsanlage der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe besteht aus einer Schachtofenanlage mit Nachbrennkammer zur Verbrennung von festen und flüssigen Abfällen. Im Berichtszeitraum konnte der routinemäßige Verbrennungsbetrieb nach einem im Winter und Frühjahr durchgeführten erfolgreichen Umbau der Rauchgasreinigungseinrichtungen der Anlage ohne relevante Probleme aufrechterhalten werden. Alle erforderlichen Wartungsarbeiten wurden ordnungsgemäß ausgeführt. Die Überwachungseinrichtungen der Anlage arbeiteten einwandfrei.

Die Versuchsanlagen des Instituts für Technische Chemie TAMARA, eine Schub-Rost-Ofenanlage zur Erprobung der Verbrennungsbedingungen für hausmüllähnliche Abfälle und THERESA, eine Anlage zur versuchsweisen Verbrennung spezieller Abfälle in einem Drehrohr, befanden sich im Berichtszeitraum im routinemäßigen kampagnenweisen Versuchsbetrieb. Die Anlagen arbeiteten ohne relevante außenwirksame Betriebsstörungen. Sie wurden vorschriftsgemäß gewartet und überwacht.

Die Anlagen zur zentralen Wärmeversorgung des Zentrums, das Fernheizwerk sowie das Blockheizkraftwerk, arbeiteten im Berichtszeitraum vorschriftsmäßig und hielten die vorgegebenen Grenzwerte ein. Aufgrund der installierten Leistung von mehr als 20 MW fallen die Wärmever-

sorgungsanlagen unter die Regelungen des europäischen Emissionshandels. Die Kohlendioxidemissionen im Berichtszeitraum fielen witterungsbedingt etwas geringer aus, als die zuvor auf Basis früherer Brennstoffverbrauchsmengen ermittelten Werte.

Immissionsschutzrechtliche Beratung und Unterstützung im Bereich von Genehmigungsanträgen fand unter anderem in dem aktuellen Projekt des Forschungszentrums zur Erzeugung von Kraftstoffen aus Biomasse „bioliq“ statt.

Zur Erfüllung der gesetzlich vorgeschriebenen Kontrollpflichten des Immissionsschutzbeauftragten wurden regelmäßige Begehungen der immissionsschutzrechtlich relevanten Anlagen durchgeführt und Informationen mit den Betreibern über gesetzliche Rahmenbedingungen, Anlagenänderungen und aktuelle Betriebserfahrungen ausgetauscht. Als Grundlage für die Kontrollen dienten die Genehmigungen, Auflagen, sowie die vorhandenen gutachterlichen Überwachungsprotokolle.

7.1.4 Betriebsbeauftragter für Gewässerschutz

K. Dettmer

Das Forschungszentrum Karlsruhe betreibt ein umfangreiches Trennkanalisationssystem. Es existieren separate Netze für häusliches Schmutzwasser (Sanitärabwasser), für Abwasser aus Werkstätten, Labors und technischen Bereichen (Chemie-Abwasser) sowie für Regenwasser. Die Ableitung des Regenwassers erfolgt über Schwer- und Leichtstoffabscheider in den Hirschkanal als Vorfluter. Die anderen Abwasserarten werden in zwei unterschiedlichen Kläranlagen, der biologischen und der chemischen Kläranlage behandelt. Sowohl das gereinigte Abwasser der Kläranlagen des Forschungszentrums, als auch der Kläranlage der Stadt Eggenstein-Leopoldshafen gelangen über eine gemeinsame Vorflutleitung in den Rhein als Vorfluter.

Im Berichtszeitraum konnten die Bedingungen und Auflagen aus der wasserrechtlichen Erlaubnis und Genehmigung ohne Beanstandung eingehalten werden. Die beiden Kläranlagen arbeiteten bestimmungsgemäß. Die routinemäßigen Prüfungen sowie die Wartungs- und Reinigungsarbeiten an den Anlagen und den Abwassernetzen wurden entsprechend der Vorschriften durchgeführt.

Neben den Überwachungsaufgaben an den Abwassersystemen fanden im Rahmen des betrieblichen Gewässerschutzes regelmäßige Kontrollen an Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen statt. Es wurden Begehungen von Anlagen, sowie wiederkehrende Prüfungen durchgeführt und Maßnahmen zur Umsetzung der rechtlichen Vorgaben getroffen. Ferner wurden Baugesuche und Baugenehmigungen im Hinblick auf den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und auf die korrekte Nutzung der Entwässerungssysteme überprüft.

Wasserrechtliche Beratung fand unter anderem in den aktuellen Projekten des Forschungszentrums „Spektrometer zur Bestimmung der Neutrinomasse - KATRIN“ sowie der Anlage zur Erzeugung von Kraftstoffen aus Biomasse „bioliq“ statt.

Die zuständigen Personen der einzelnen Organisationseinheiten erhielten Informationen über die innerbetriebliche Umsetzung der aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen. Neben einem persönlichen Fortbildungsangebot standen den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Organisationseinheiten ausführliche Informationen über die Aspekte des betrieblichen Umweltschutzes im Intranet des Forschungszentrums Karlsruhe zur Verfügung.

7.2 Emissions- und Umgebungüberwachung

Die Überwachungsaufgaben der Hauptabteilung Sicherheit im Bereich „Emissions- und Umgebungüberwachung“ werden von den Abteilungen „Technisch-administrative Beratung und Genehmigungen“ (HS-TBG) und „Überwachung und Messtechnik“ (HS-ÜM) wahrgenommen. Sie umfassen vor allem die Überwachung der Emissionen radioaktiver und nicht-radioaktiver Stoffe

mit Abluft und Abwasser aus dem Forschungszentrum Karlsruhe und die Überwachung der Immissionen in seiner Umgebung. Überwachungsziel ist der auf Messungen und begleitende Berechnungen gestützte Nachweis der Einhaltung der umwelt- und strahlenschutzrechtlich vorgegebenen Grenzwerte und darüber hinausgehender Auflagen der Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden. Ausführliche Berichte über die Ergebnisse der Abluft-, Abwasser- und Umgebungsüberwachung werden den zuständigen Landesbehörden in Baden-Württemberg regelmäßig übersandt.

Die Ableitungen mit der Fortluft aller sowohl nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) als auch nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) genehmigungsbedürftiger Emittenten des Forschungszentrums werden von der Koordinierungsstelle Abluft bei HS-TBG erfasst und kontrolliert. Genehmigungsrechtliche Aspekte der Anlagen, die nach BImSchG betrieben werden, wurden bereits in Kap. 7.1.3 erläutert. Die von den jeweiligen Betreibern erhobenen Emissionsdaten werden HS-TBG jährlich mitgeteilt und in Kap. 7.2.1.1 aufgeführt und bewertet. Die radiologische Fortluftüberwachung erfolgt auf der Grundlage eines sog. Abluftplanes, in dem die zulässigen Ableitungen der verschiedenen Emittenten hinsichtlich der zu überwachenden Radionuklide bzw. Nuklidgruppen individuell festgeschrieben sind. Zur Kontrolle der Einhaltung der Bestimmungen des Abluftplanes und zur Bilanzierung der abgeleiteten Radioaktivität werden alle im Bereich des Forschungszentrums Karlsruhe anfallenden Fortluftproben in den physikalischen und chemischen Messlabors von HS-ÜM gemessen. Struktur, Umfang und Ergebnisse der routinemäßigen Abluftüberwachung sind in Kap. 7.2.1.2 und die Ergebnisse der Dosisberechnungen für die Umgebung auf der Grundlage der bilanzierten Ableitungen in Kap. 7.2.1.3.6 dieses Berichts dargestellt.

Die Überwachung des auf dem Gelände des Forschungszentrums Karlsruhe anfallenden Abwassers hinsichtlich radioaktiver Stoffe wird von HS-ÜM, hinsichtlich nicht-radioaktiver Stoffe von BTI-V durchgeführt. Die Mengen dieser Stoffe, die mit dem Abwasser aus den Kläranlagen des Forschungszentrums in den Vorfluter abgegeben werden, werden durch Bilanzierungsmessungen erfasst. Die Ergebnisse sind in den Kapiteln 7.2.2.1 und 7.2.2.2 wiedergegeben. Für die Ableitung radioaktiver Stoffe wird zudem die Strahlenexposition, die sich aus der Ableitung ergibt, abgeschätzt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 7.2.2.3 aufgeführt.

Das Umgebungsüberwachungsprogramm umfasst sowohl die Messung der äußeren Strahlung mit Hilfe von Festkörperdosimetern und Dosisleistungs-Messstationen als auch die Bestimmung des Radioaktivitätsgehaltes von Probenmaterialien aus verschiedenen Umweltmedien wie Luft, Niederschlag, Boden und Bewuchs, landwirtschaftliche Produkte, Sediment, Oberflächenwasser, Grund- und Trinkwasser. Eine zusammenfassende Darstellung des Programms und der Ergebnisse der Umgebungsüberwachung erfolgt in Kapitel 7.2.3.

7.2.1 Fortluftüberwachung

A. Wicke

7.2.1.1 Ableitung nicht-radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2007

7.2.1.1.1 Verbrennungsanlage der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe

U. Hoepfener-Kramar (HDB)

Die bei der HDB angelieferten und erzeugten brennbaren festen und flüssigen radioaktiven Reststoffe wurden im Jahr 2007 in der Anlage VP 10 verbrannt. Dabei wurden 690 m³ α - und β -kontaminierte Feststoffe und parallel dazu 4,44 m³ α - und β -kontaminierte Öle und Lösungsmittel in 1 930 Betriebsstunden verarbeitet.

Die Emissionsüberwachung von nicht-radioaktiven Stoffen erfolgt mittels Messgeräten, die als eignungsgeprüft nach den Richtlinien des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zugelassen sind. Für jeden Schadstoff wird täglich ein Protokoll erstellt, in

dem die Häufigkeitsverteilung der Halbstunden- und Tagesmittelwerte für Konzentration und Massenstrom sowie Angaben über Betriebs- und Anlagenzustände enthalten sind.

Tab. 7-4 gibt einen Überblick über die zulässigen Schadstoffkonzentrationen, die beim Betrieb im Jahre 2007 gemessenen Konzentrationen sowie über die Gesamtableitung. Die Messergebnisse der Dioxin-Messung lagen weiterhin unter 0,01 ng/m³ I-TE-Äquivalent. Ergänzend wurden auch Schwermetallmessungen durchgeführt.

Schadstoff	Konzentrationsgrenzwert nach 17. BImSchV ¹⁾ mg/Nm ³	gemessene Konzentration mg/Nm ³	Emissions-Fracht Mg
HCl	10	0,65*	0,00139
SO ₂	50	9,6*	0,02
CO	50	13,6*	0,0274
Staub	10	0,75*	0,00145
Gesamt-C	10	2,0*	0,00197
NO _x	200	127,3*	0,281
HF	1	<0,2**	-
PCDD/PCDF	0,1 ng/Nm ³	0,002 ng/Nm ^{3**}	-
Hg	0,05	0,002**	-
Summe Staubinhalt und Filtergängig Cd und Tl	0,05	0,005**	-
Summe Staubinhalt und Filtergängig Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	0,5	0,05**	-

¹⁾ Tagesmittelwerte

* Jahresmittelwerte

**gemittelt über 3 Tage

Tab. 7-4: Emissionsdaten im Jahr 2007 für die Verbrennungsanlage der HDB

7.2.1.1.2 Versuchsanlagen TAMARA und THERESA

H.-G. Dittrich (ITC-TAB)

Im Jahr 2007 wurden an der Versuchs-Müllverbrennungsanlage TAMARA keine Versuchskampagnen durchgeführt. An der Versuchs-Müllverbrennungsanlage THERESA wurde eine Versuchskampagne zu drei Wochen durchgeführt: In Tab. 7-5 sind die gemittelten Massenkonzentrationen der emittierten Schadstoffe für jede Anlage aufgeführt. Gemäß 17. BImSchV sind die Schadstoffkonzentrationen auf einen Sauerstoffgehalt von 11 % zu normieren, sofern der gemessene Sauerstoffgehalt im Abgas über dem Bezugssauerstoffgehalt liegt. Die zweite Spalte enthält die Emissionsgrenzwerte nach der 17. BImSchV (Tagesmittelwerte). Der C_{ges}-Wert liegt bei der THERESA-Anlage über dem Grenzwert. Dies rührt daher, dass beim Anfahren der kalten Anlage über längere Zeit keine ausreichenden Verbrennungstemperaturen erreicht und damit zwangsweise hohe Mengen an unverbranntem C_{ges} (vorwiegend Erdgas) emittiert werden. Da das ungünstige zeitliche Verhältnis von Anfahr- zu Regelbetrieb ein spezifischer Nachteil kleinerer Versuchsanlagen ist, die nur kampagnenweise betrieben werden, wurde vom Forschungszentrum Karlsruhe GmbH eine Ausnahmegenehmigung beantragt, die diesem Umstand Rechnung trägt. Alle anderen Emissionen liegen unter den vorgeschriebenen Grenzwerten.

Schadstoff	Konzentrationsgrenzwert nach 17. BImSchV ¹⁾ mg/Nm ³	Schadstoffkonzentration in mg/Nm ³ trocken, normiert auf 11 % O ₂ ²⁾	
		TAMARA	THERESA
HF	1	n.g.	≤ 0,2
HCl	10	n.g.	≤ 2,0
SO ₂	50	n.g.	≤ 1,0
NO ₂	200	n.g.	100
CO	50	n.g.	37 (24*)
C _{ges}	10	n.g.	29 (1,1*)
Staub	10	n.g.	2,6
Hg	0,03	n.g.	≤ 0,01
Staubinhaltsstoffe Cd und Tl	0,05	n.g.	≤ 0,01
Staubinhaltsstoffe Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	0,5	n.g.	≤ 0,1
Staubinhaltsstoffe As, Benzo(a)pyren, Cr, Co, Cu	0,05	n.g.	≤ 0,1
PCDD/PCDF	0,1 ng/Nm ³	n.g.	≤ 0,02 ng/Nm ³

¹⁾ Tagesmittelwerte

²⁾ gemäß 17. BImSchV nur, wenn O₂-Gehalt > 11%

(*) ohne Anfahrbetrieb

n.g. bedeutet „nicht gemessen“

Tab. 7-5: Emissionsdaten der Versuchsanlagen TAMARA und THERESA im Jahr 2007

7.2.1.1.3 Fernheizwerk und Blockheizkraftwerk

Auf Grund der Außerbetriebnahme des Blockheizkraftwerks und der Begrenzung der Feuerungswärmeleistung der Heizkessel auf <50 MW unterliegt das Heizwerk seit 2007 nicht mehr den Vorschriften der 13. BImSchV für Großfeuerungsanlagen. Die Beurteilung der Emissionen erfolgt nach der TA-Luft. Eine jährliche Bilanzierung der Emissionen ist nicht mehr erforderlich.

7.2.1.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2007

A. Wicke, B. Messerschmidt

Im Rahmen der radiologischen Überwachungsaufgaben sind für die Fortluft entsprechend den „Grundsätzen für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Forschungszentrum Karlsruhe (Stand: August 1999)“ die Aktivitätsabgaben der einzelnen Emittenten zu kontrollieren und zu bilanzieren. Dies geschieht auf der Grundlage eines von der Koordinierungsstelle Abluft/HS-TBG erstellten und vom Umweltministerium des Landes Baden-Württemberg genehmigten „Abluftplans“. Dieser Abluftplan enthält für die einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe die zulässigen Jahres-, Wochen- oder Tagesableitungen, aufgeschlüsselt nach Radionukliden oder Radionuklidgruppen. Die Werte für den Abluftplan 2007 waren so festgelegt, dass rechnerisch die potentielle Strahlenexposition bei Ausschöpfung der

dort angegebenen zulässigen Ableitungen die in § 47 der Strahlenschutzverordnung vorgeschriebenen Dosisgrenzwerte deutlich unterschreitet.

Im Abluftplan und bei der Bilanzierung der radioaktiven Ableitungen werden die folgenden Nuklidgruppen und Einzelnuklide unterschieden:

A _{AK}	Schwebstoffe mit kurzlebiger α -Aktivität (Halbwertszeit < 8 Tage)
A _{AL}	Schwebstoffe mit langlebiger α -Aktivität (Halbwertszeit \geq 8 Tage)
A _{BK}	Schwebstoffe mit kurzlebiger β -Aktivität (Halbwertszeit < 8 Tage)
A _{BL}	Schwebstoffe mit langlebiger β -Aktivität (Halbwertszeit \geq 8 Tage)
E	radioaktive Edelgase
G _K	kurzlebige radioaktive Aktivierungsgase
I	radioaktive Iodisotope
H-3	Tritium
C-14	Kohlenstoff-14

Die Einführung von Nuklidgruppen bedeutet keinen Verzicht auf die Bilanzierung der Ableitungen von einzelnen Radionukliden. Sie ist jedoch bei verschiedenen Emittenten notwendig, da bei diesen einerseits das Emissionsspektrum nicht vorhergesagt werden kann, andererseits aber zulässige Ableitungen vorgegeben werden müssen. Die Emittenten-spezifischen Definitionen der Nuklidgruppen werden in Kap. 7.2.1.3.5 aufgeführt und begründet. Im Abluftplan für das Jahr 2007 waren Genehmigungswerte für 22 Emittenten ausgewiesen (siehe Abb. 7-3).

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Ableitungen über insgesamt 27 Emissionsstellen erfolgen. Die Zahl 22 ergibt sich dadurch, dass im Fall sehr nahe beieinander liegender Emissionsstellen zur Vereinfachung der Ausbreitungsrechnungen mehrere zu einem Emittenten zusammengefasst wurden:

HDB:	Kamine Bau 548 Ost und West
IMF-II-FML:	Kamine Bau 702 und 709
ITU:	Kamine Bau 802, 806 und 807
WAK:	Kamine Bau 1503 und 1532

Die Ermittlung der radioaktiven Ableitungen der zum Forschungszentrum Karlsruhe GmbH gehörenden Emittenten erfolgt abteilungsübergreifend durch die Mitarbeiter der HS-Abteilungen HS-ÜM und HS-TBG. Dabei werden die zur Bilanzierung benutzten Filter, Iodkohlepatronen, C-14- und Tritiumsammler durch Mitarbeiter des operativen Strahlenschutzes vor Ort gewechselt und den physikalischen und chemischen Messlabors zur Auswertung zugeleitet (siehe Abb. 7-4). Die Ergebnisse der Messstellen für radioaktive Gase werden vor Ort registriert und der Koordinierungsstelle übermittelt. Wartung, Reparatur, Kalibrierung und Wiederkehrende Prüfungen der für die Fortluftüberwachung eingesetzten Geräte werden von HS-ÜM durchgeführt. Die Fortluftüberwachung der Emittenten am Standort, die nicht vom Forschungszentrum Karlsruhe GmbH betrieben werden, wie WAK, ITU und ZAG, erfolgt durch die zuständigen Betreiber. Die Messergebnisse werden der Koordinierungsstelle Abluft als bilanzierende Stelle bei HS-TBG mitgeteilt. Die Fortluftproben der WAK und ZAG werden im Auftrag bei HS-ÜM ausgewertet.

Einzelheiten zur Messung und Bilanzierung von radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft sind aus Kap. 7.2.1.2 ersichtlich. Über die aufgrund dieser Ableitungen in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe rechnerisch ermittelte Strahlenexposition wird in Kap. 7.2.1.3 berichtet. Bei der Dosisberechnung wurde auf ausdrücklichen Wunsch der zuständigen Aufsichtsbehörde die derzeit noch rechtsgültige „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung (alt)“ angewandt.

Die Bilanzierung der radioaktiven Ableitungen erfolgt durch Auswertung der in den Fortluftmessstellen eingesetzten Sammler. Für die Überwachung der Ableitung von radioaktiven

Schwebstoffen werden Glasfaserfilter, von Iod Aktivkohle und von Tritium oder C-14 Molekularsieve eingesetzt. Eine Ausnahme bilden die radioaktiven Gase, deren Bilanzierung durch Direktmessung erfolgt. Im Jahr 2007 belief sich das Probenaufkommen auf eine Zahl von insgesamt 2207 (siehe Abb. 7-2).

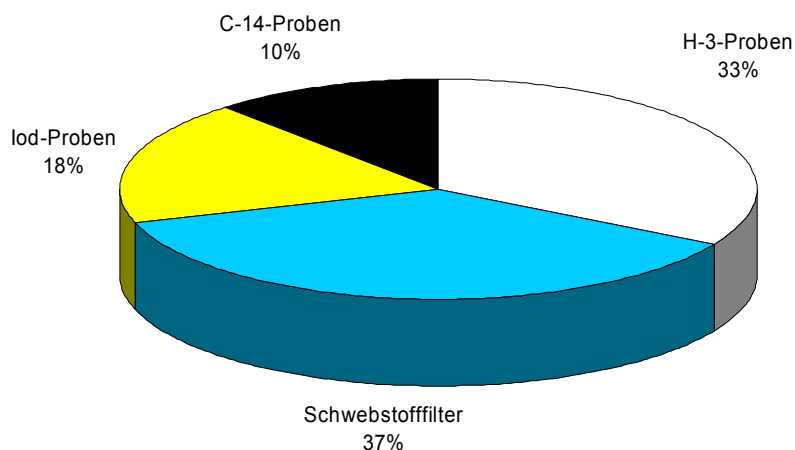


Abb. 7-2: Probenaufkommen in der Fortluftüberwachung im Jahr 2007 (Gesamtzahl 2 207)

Alle Messergebnisse wurden auf der Grundlage einer wöchentlichen Bilanzierung dokumentiert und der Behörde in Form von Tages-, Wochen-, Quartals- und Jahresberichten mitgeteilt. Zur Bilanzierung wurden nur Messwerte herangezogen, die oberhalb der jeweils erreichten Erkennungsgrenze lagen. Die Bilanzierungswerte für radioaktive Schwebstoffe werden durch Messung der Gesamt-Alpha- und Gesamt-Beta-Aktivität ermittelt. In den Fällen, bei denen sich Hinweise darauf ergeben, dass bei erhöhten Kurzzeitabgaben die zulässigen Wochen- oder Tageswerte erreicht worden sein könnten, werden nuklidspezifische Messungen vorgenommen.

Die Radioiodableitungen werden durch gammaspektrometrische Analyse der Aktivkohlefilter ermittelt. Um die potenzielle Schilddrüsenedosis bei Ableitung mehrerer Iodisotope zu begrenzen, ist gemäß Abluftplan folgende Summenformel einzuhalten:

$$\sum_i \frac{A_i}{A_{i,zul.}} \leq 1$$

Dabei bedeuten:

i	Nuklidindex
A_i	Aktivitätsabgabe für das Iodisotop i
$A_{i,zul.}$	zulässige Ableitung für das Iodisotop i

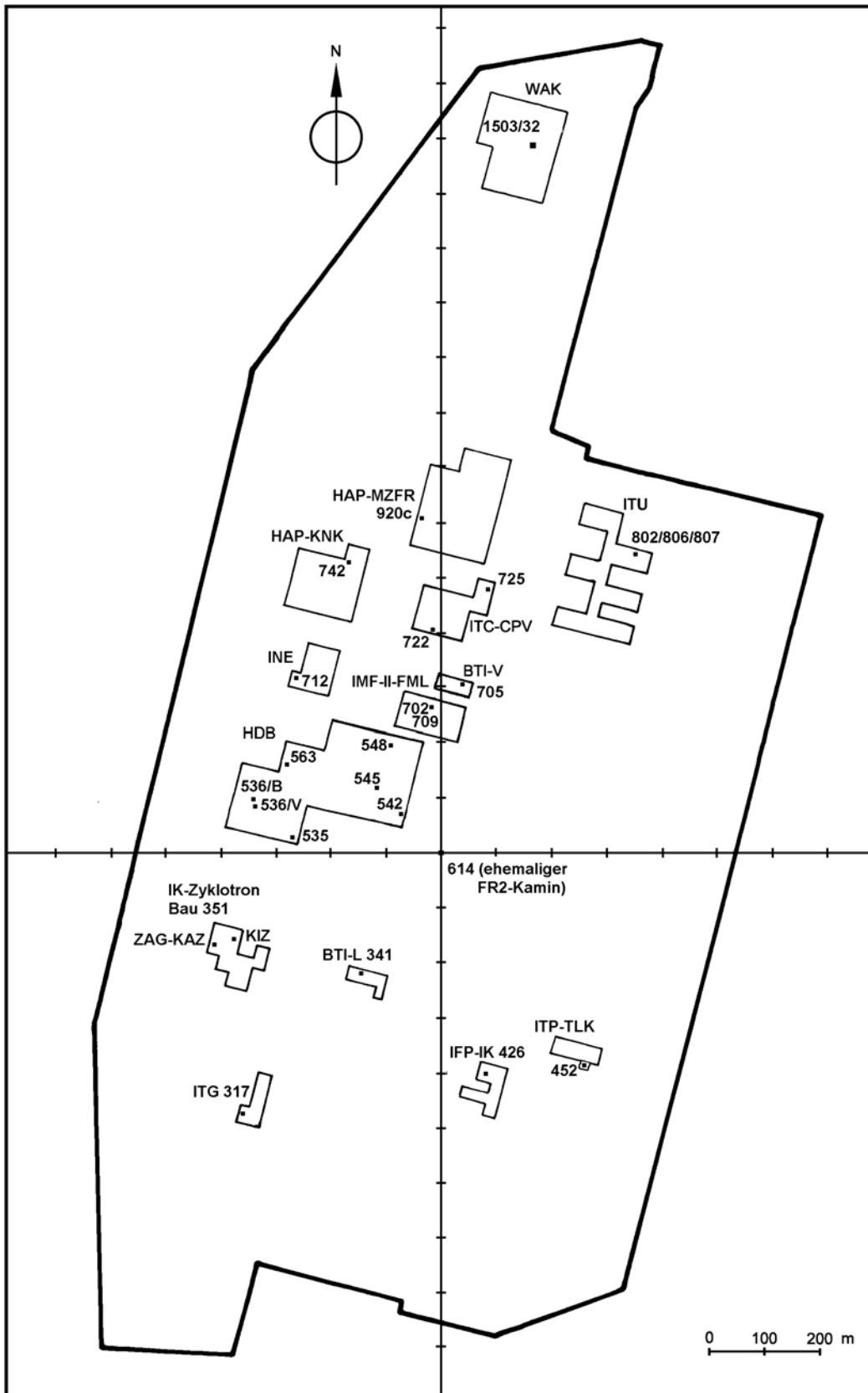


Abb. 7-3: Emittenten des Standortes „Forschungszentrum Karlsruhe“

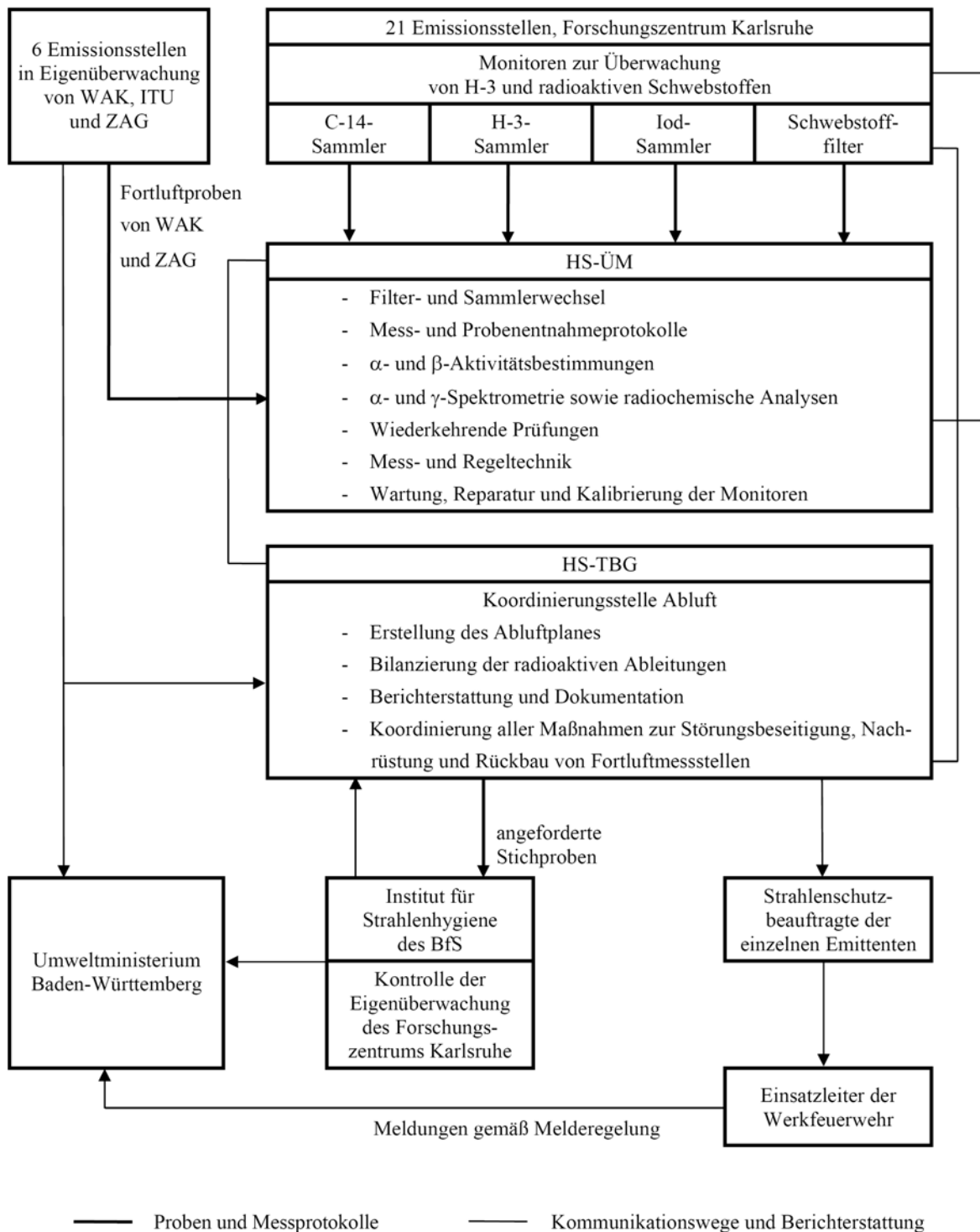


Abb. 7-4: Schematische Darstellung der Fortluftüberwachung im Forschungszentrum Karlsruhe

In Tab. 7-6 werden für alle Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe, geordnet nach aufsteigenden Gebäudenummern und den jeweils zu berücksichtigenden Nukliden und Nuklidgruppen, die im Jahr 2007 gemäß Abluftplan maximal zulässigen Ableitungen (Wochen- und Jahreswerte) mit den im Berichtsjahr und im Vorjahr bilanzierten Ableitungen verglichen. Die zulässigen Ableitungen wurden in keinem Fall überschritten. Auch die Forderung nach Unterschreitung von 50 % der zulässigen Jahresableitungen in einem beliebigen Zeitintervall von sechs Monaten wurde in allen Fällen eingehalten.

Emittent Bau-Nr. Emissions- höhe	Nuklid/ Nuklid- gruppe	zulässige Ableitungen gemäß Abluftplan 2007		bilanzierte Ableitungen		Effektivdosis am Immissions- maximum des Emittenten μSv
		Bq/Woche	Bq/a	2007 Bq	2006 Bq	
ITG Bau 317 14 m	A _{BL}		1,0 E06	4,0 E04	4,7 E04	< 0,001
BTI-L Bau 341 15 m	A _{AL} A _{BL}		1,0 E05 1,0 E07	1,8 E03 7,1 E04	1,0 E03 8,3 E04	< 0,001
ZAG Bau 351 KAZ 15 m	A _{AL} A _{BK} A _{BL} E+G _K I-123 I-125	5,0 E03 5,0 E08 5,0 E06 1,0 E12 5,0 E08 5,0 E05	1,0 E05 1,0 E10 1,0 E08 2,0 E13 1,0 E10 1,0 E07	0 - 3,4 E03 1,2 E13 1,9 E08 1,9 E05	6,8 E01 - 1,0 E04 1,1 E13 2,2 E08 2,2 E05	1,35
IK -Zyklotron Bau 351 KIZ, 36 m	A _{BL}		5,0 E07	7,7 E04	8,4 E04	< 0,001
IFP und IK Bau 424-426 und 434 10 m	E H-3		3,0 E11 2,0 E11	4,0 E04 4,0 E03	4,0 E04 4,0 E03	< 0,001
ITP-TLK Bau 452 50 m	H-3	2,0 E12	4,0 E13	1,4 E11	9,2 E10	0,012
HDB Bau 535 I 16,5 m	H-3		1,0 E11	5,3 E08	3,2 E07	< 0,001
HDB Bau 536/V (Ver- brennungs- anlage) 70 m	A _{AL} A _{BL} H-3 C-14 I-125 I-129 I-131 E	2,0 E06 1,0 E09 2,0 E12 7,0 E10 1,5 E07 1,5 E07 2,0 E07 1,0 E11	4,0 E07 2,0 E10 4,0 E13 1,4 E12 3,0 E08 3,0 E08 4,0 E08 2,0 E12	1,5 E03 1,0 E06 2,2 E12 2,6 E10 0 0 0 -	0 2,7 E05 1,1 E12 9,1 E10 0 2,6 E04 0 -	0,23

„0“ = alle gemessenen Werte lagen unterhalb der Erkennungsgrenze

„-“ = keine Ableitungen

Tab. 7-6: Ableitungen radioaktiver Stoffe der einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe in die Atmosphäre in den Jahren 2007 und 2006

Emittent Bau-Nr. Emissions- höhe	Nuklid/ Nuklid- gruppe	zulässige Ableitungen gemäß Abluftplan 2007		Bilanzierte Ableitungen		Effektivdosis am Immissions- maximum des Emittenten
				2007	2006	
		Bq/Woche	Bq/a	Bq	Bq	µSv
HDB Bau 536/B (Betriebs- räume) 16,5 m	A _{AL}		1,0 E05	0	0	0,002
	A _{BL}		2,0 E07	3,2 E04	1,9 E05	
	H-3		5,0 E10	1,2 E10	9,4 E08	
	I-125		8,0 E05	0	0	
	I-129		1,0 E06	0	0	
	I-131		1,0 E06	0	0	
HDB Bau 542 8 m	A _{AL}		4,0 E05	7,4 E02	7,6 E02	< 0,001
	A _{BL}		4,0 E07	1,3 E04	1,3 E04	
	H-3		1,0 E10	7,5 E08	4,0 E07	
	I-129		1,0 E04	-	8,4 E02	
HDB Bau 545 20 m	A _{AL}	1,0 E05	2,0 E06	0	4,9 E02	< 0,001
	A _{BL}	5,0 E07	1,0 E09	2,2 E04	1,0 E05	
	H-3	2,0 E11	4,0 E12	0	4,1 E09	
	C-14	2,5 E09	5,0 E10	0	0	
	I-125	2,5 E06	5,0 E07	0	0	
	I-129	3,0 E05	6,0 E06	0	0	
	I-131	5,0 E06	1,0 E08	0	0	
HDB Bau 548 Ost und Bau 547 15 m HDB Bau 548 West 15 m	A _{AK}	5,0 E07	1,0 E09	-	-	0,013
	A _{AL}	1,5 E05	3,0 E06	0	0	
	A _{BL}	2,0 E07	4,0 E08	9,8 E05	5,5 E06	
	H-3	2,0 E12	4,0 E13	8,3 E10	3,0 E11	
	C-14	2,5 E09	5,0 E10	1,8 E09	7,8 E07	
	I-125	4,0 E06	8,0 E07	0	0	
	I-129	1,0 E06	2,0 E07	0	0	
	I-131	4,0 E06	8,0 E07	0	0	
E	5,0 E10	1,0 E12	1,8 E10	6,3 E08		
HDB Bau 563 14 m	A _{AL}		1,0 E06	0	0	0,001
	A _{BL}		1,0 E07	0	3,2 E04	
	H-3		8,0 E11	4,9 E09	2,5 E09	

„0“ = alle gemessenen Werte lagen unterhalb der Erkennungsgrenze

„-“ = keine Ableitungen

Tab. 7-6: Ableitungen radioaktiver Stoffe der einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe in die Atmosphäre in den Jahren 2007 und 2006
(Fortsetzung)

Emittent Bau-Nr. Emissions- höhe	Nuklid/ Nuklid- gruppe	zulässige Ableitungen gemäß Abluftplan 2007		bilanzierte Ableitungen		Effektivdosis am Immissions- maximum des Emittenten μSv
		Bq/Woche	Bq/a	2007	2006	
				Bq	Bq	
IMF-II-FML Bau 702 60 m und Bau 709 60 m	A _{AL}	2,0 E06	4,0 E07	7,3 E02	0	0,003
	A _{BL}	5,0 E07	1,0 E09	9,5 E04	1,0 E05	
	H-3	1,0 E12	2,0 E13	1,4 E11	6,0 E10	
BTI-V Wäscherei Bau 705 5,5 m	A _{AL}		1,0 E06	1,2 E03	1,4 E03	< 0,001
	A _{BL}		1,0 E08	1,3 E04	1,7 E04	
INE Bau 712 60 m	A _{AL}		1,0 E06	0	0	< 0,001
	A _{BL}		1,0 E08	1,7 E04	9,4 E03	
	H-3		1,0 E11	0	0	
	E		2,0 E11	-	-	
	I-125		2,0 E07	-	-	
	I-126		2,0 E07	-	-	
	I-129		1,0 E06	-	-	
I-131		3,0 E07	-	-		
ITC-CPV Bau 722 60 m	A _{AL}		1,0 E06	0	0	< 0,001
	A _{BL}		3,0 E08	0	0	
ITC-CPV Bau 725 10 m	A _{AL}		1,0 E04	0	0	< 0,001
	A _{BL}		1,0 E05	0	0	
HAP-KNK Bau 742 16 m	A _{BL}	2,5 E06	5,0 E07	2,9 E04	1,1 E05	0,001
	H-3	1,0 E12	2,0 E13	4,2 E09	4,0 E09	
ITU Bau 802, 806, 807 50 m	A _{AK}	1,6 E09	3,2 E10	-	-	0,002
	A _{AL}	5,0 E04	1,0 E06	1,2 E04	3,0 E03	
	A _{BL}	2,0 E07	4,0 E08	7,8 E04	6,4 E04	
	E	2,0 E12	4,0 E13	4,2 E11	8,8 E11	
	C-14	1,0 E09	2,0 E10	-	-	
	I-129	5,0 E04	1,0 E06	-	-	
	I-131	1,0 E06	2,0 E07	-	-	
	H-3	5,0 E10	1,0 E12	-	-	

„0“ = alle gemessenen Werte lagen unterhalb der Erkennungsgrenze „-“ = keine Ableitungen

Tab. 7-6: Ableitungen radioaktiver Stoffe der einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe in die Atmosphäre in den Jahren 2007 und 2006 (Fortsetzung)

Emittent Bau-Nr. Emissions- höhe	Nuklid/ Nuklid- gruppe	zulässige Ableitungen gemäß Abluftplan 2007		bilanzierte Ableitungen		Effektivdosis am Immissions- maximum des Emittenten
		Bq/Woche	Bq/a	2007	2006	
				Bq	Bq	μSv
HAP-MZFR Bau 920c 99,5 m	A _{AL}	5,0 E04	1,0 E06	1,3 E04	6,8 E03	0,010
	A _{BL}	5,0 E07	1,0 E09	1,8 E06	1,4 E06	
	H-3	4,0 E12	8,0 E13	2,7 E11	2,7 E11	
	C-14	5,0 E09	1,0 E11	0	0	
WAK Bau 1503/ 1532 60 m	A _{AL}		7,4 E07	9,0 E04	1,1 E05	0,048
	A _{BL}		3,7 E09	6,0 E06	3,4 E06	
	E		1,0 E12	1,0 E11	1,0 E11	
	H-3	9,0 E11	1,8 E13	1,2 E10	1,2 E10	
	I-129	5,0 E06	1,0 E08	6,3 E05	1,0 E06	
	I-131	3,1 E07	6,2 E08	1,8 E06	3,8 E06	

„0“ = alle gemessenen Werte lagen unterhalb der Erkennungsgrenze

Tab. 7-6: Ableitungen radioaktiver Stoffe der einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe in die Atmosphäre in den Jahren 2007 und 2006 (Fortsetzung)

In den Abb. 7-5 a-g sind die monatlichen Radioaktivitätsableitungen mit der Fortluft im Jahr 2007 graphisch dargestellt. Es wird – aufgeschlüsselt nach Nuklidgruppen – unterschieden zwischen den Genehmigungsinhabern ITU, WAK, ZAG und Forschungszentrum Karlsruhe GmbH. Für die Einrichtungen des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH sind die Ableitungen für den Emissionsschwerpunkt HDB (7 Emittenten) und die 12 übrigen Emittenten getrennt dargestellt.

Graphisch dargestellt sind die Ableitungen der radioaktiven Schwebstoffe, und zwar getrennt nach denjenigen mit Alpha- und mit Betaaktivität, der radioaktiven Edelgase und kurzlebigen Aktivierungsgase sowie der Einzelnuklide I-129, I-131, H-3 und C-14.

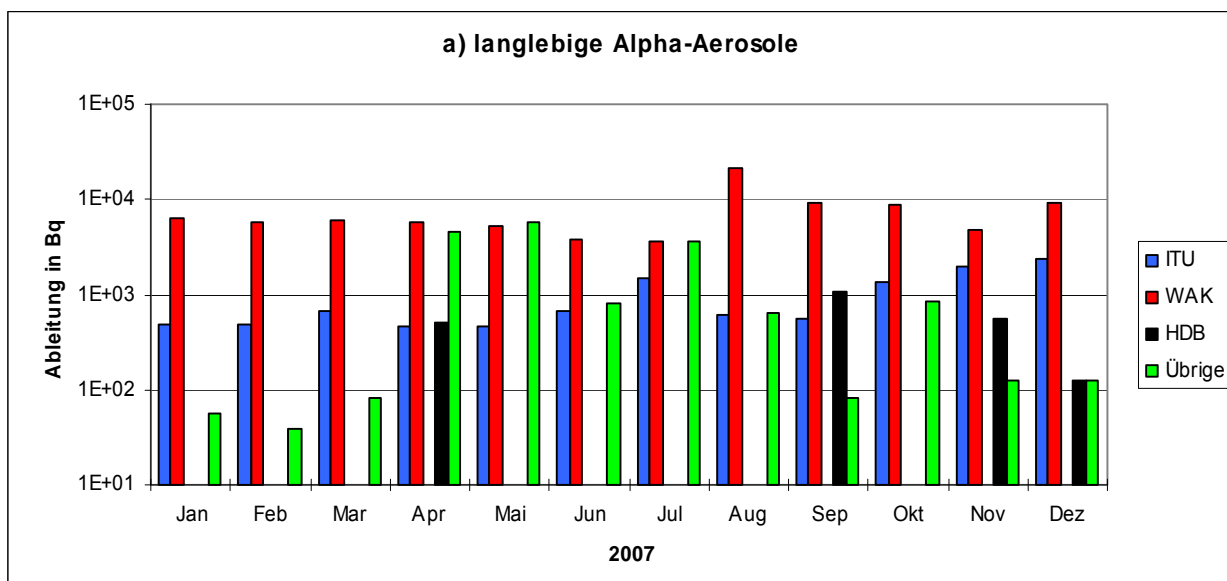


Abb. 7-5 a: Monatliche Ableitungen mit der Fortluft im Jahr 2007

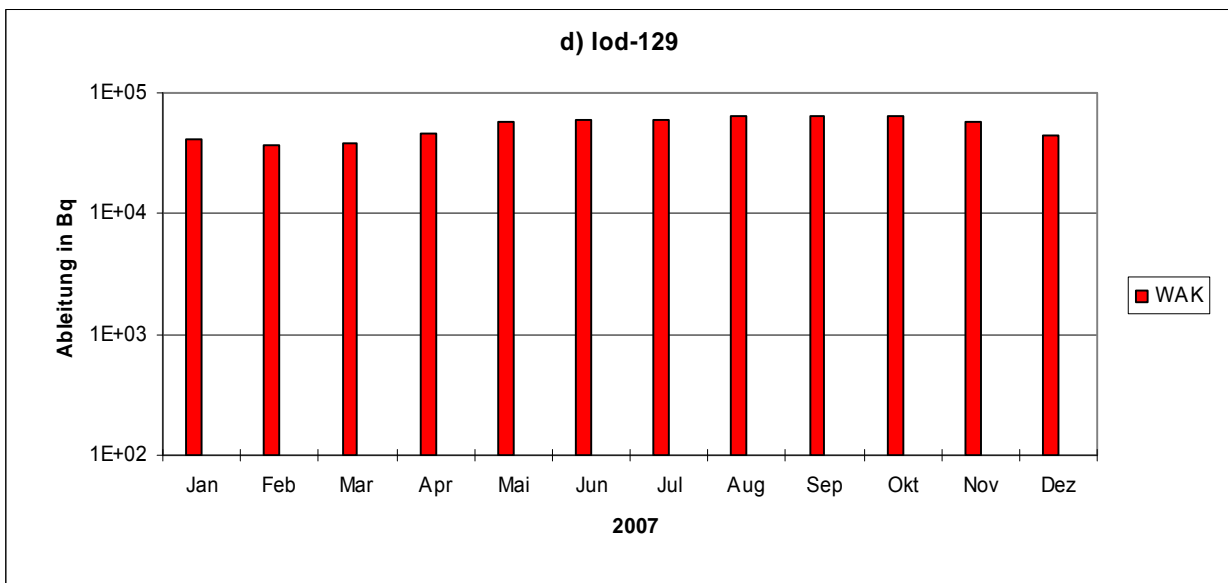
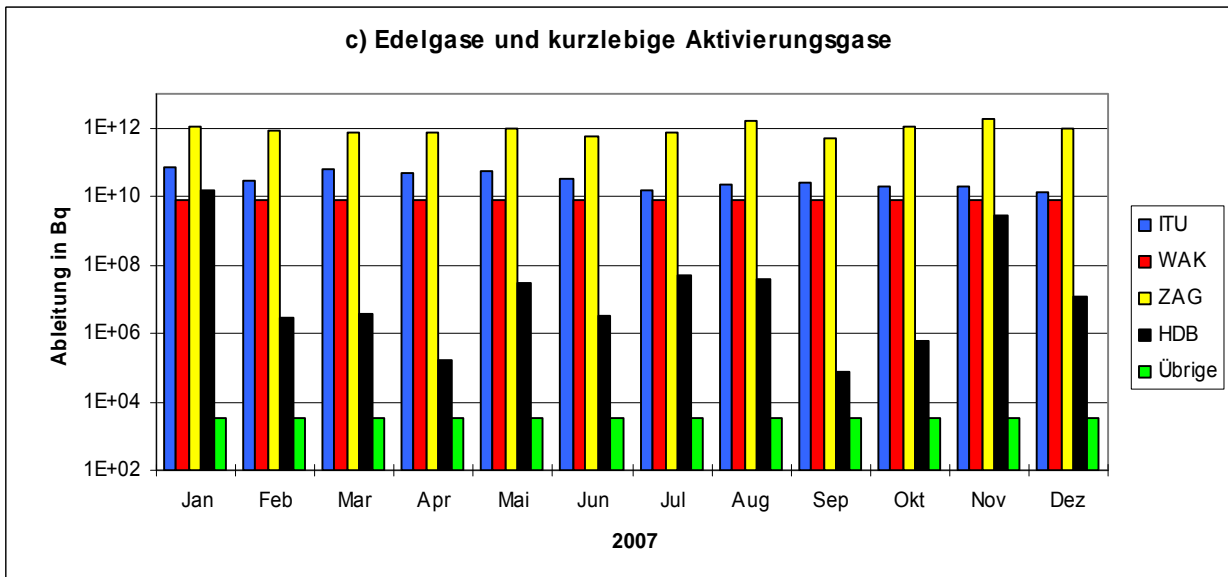
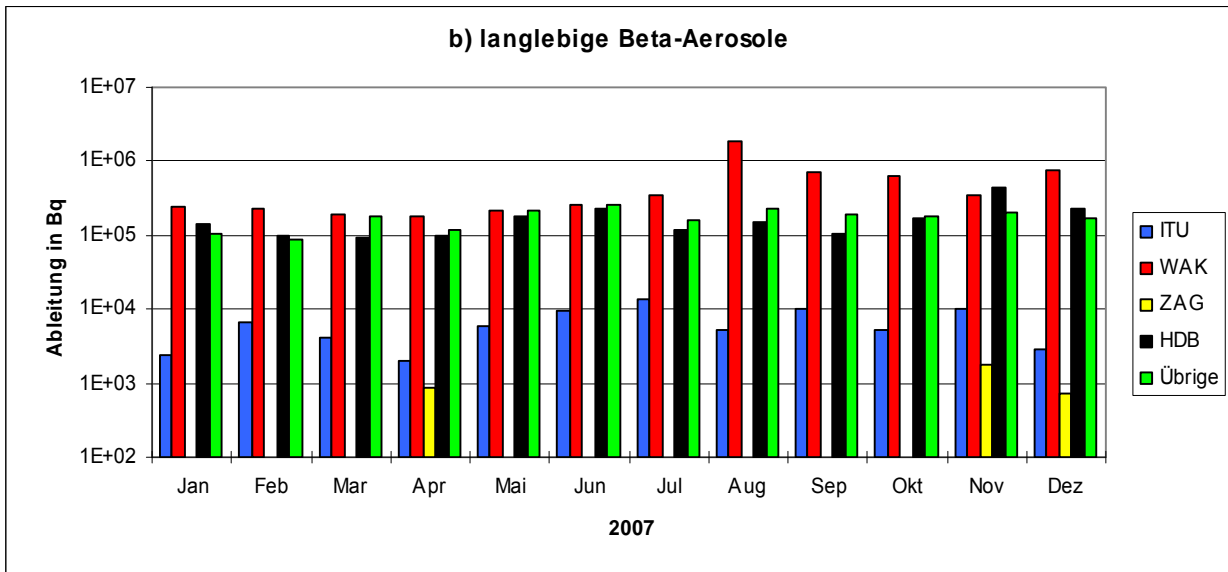


Abb. 7-5 b-d: Monatliche Ableitungen mit der Fortluft im Jahr 2007 (Fortsetzung)

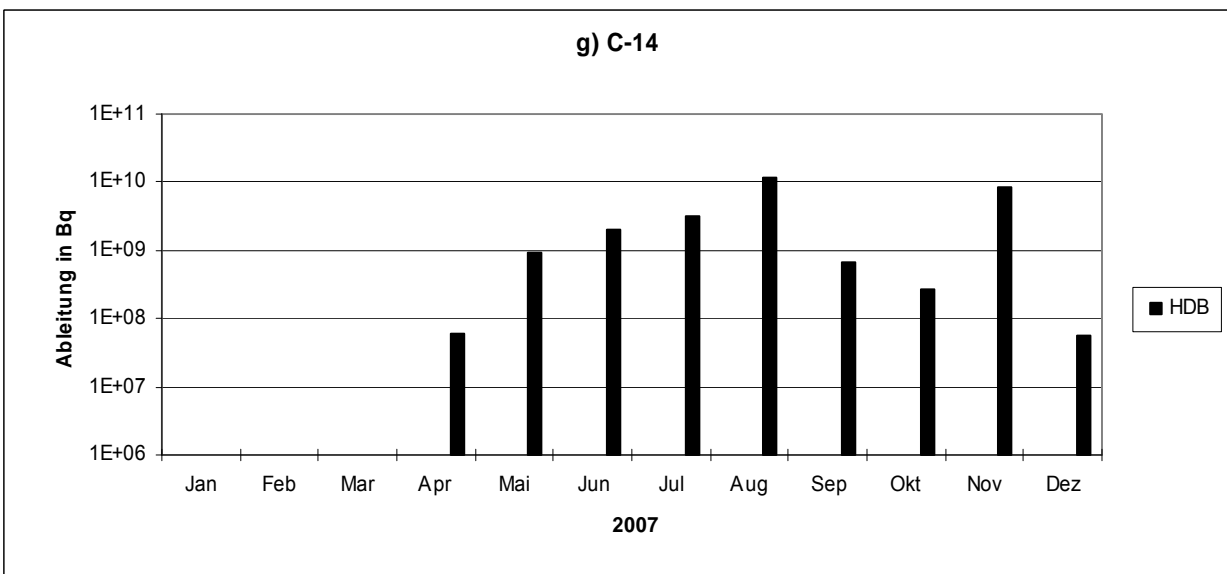
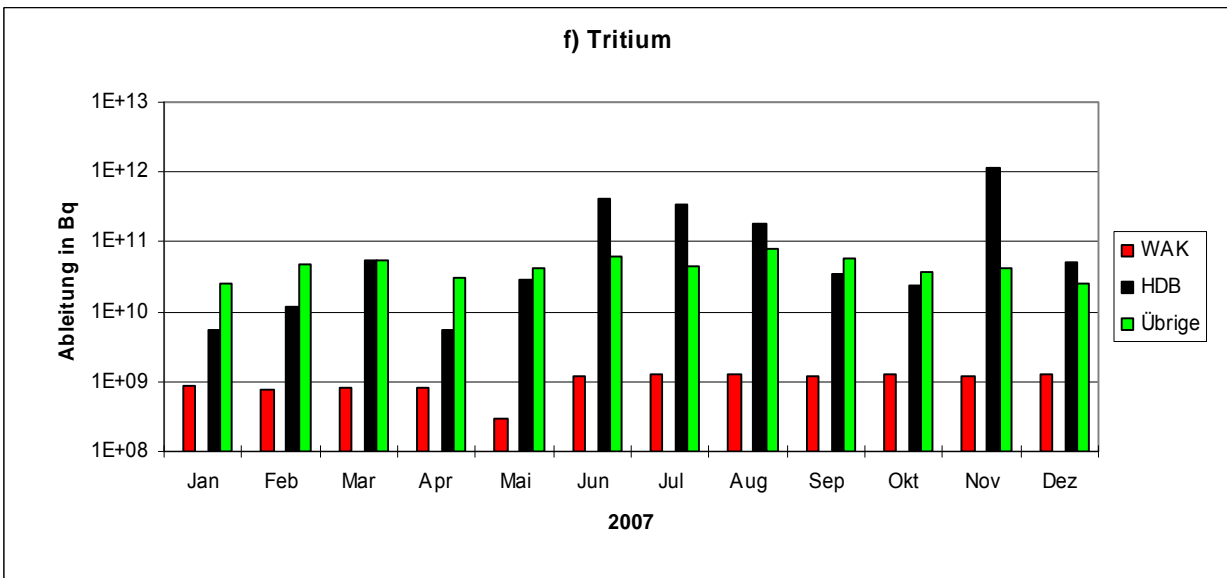
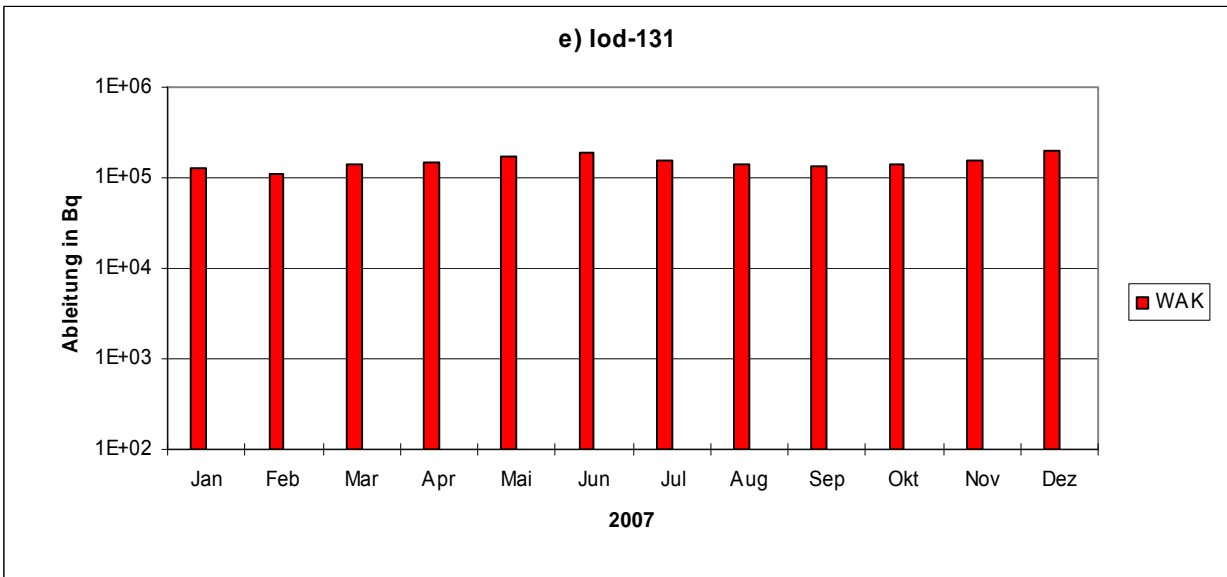


Abb. 7-5 e-g: Monatliche Ableitungen mit der Fortluft im Jahr 2007 (Fortsetzung)

7.2.1.3 Strahlenexposition in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe durch die mit der Fortluft abgeleiteten radioaktiven Stoffe im Jahr 2007

A. Wicke

7.2.1.3.1 Berechnungsgrundlagen

Die Dosisberechnung erfolgte auf der Grundlage der monatlich bilanzierten Ableitungswerte der im Jahr 2007 zu berücksichtigenden Emittenten (s. Tab. 7-6). Für die Ausbreitungsrechnungen wurden die monatlichen Wetterstatistiken des Standorts verwendet. Die Teilkörper- und Effektivdosen wurden auf der Grundlage der noch rechtsgültigen „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift“ (AVV) zu § 45 der Strahlenschutzverordnung (alt) berechnet. Mit Teilkörper- und Effektivdosen sind im Folgenden bezeichnet:

- bei äußerer Strahlenexposition die Äquivalentdosen im Bezugsjahr,
- bei innerer Strahlenexposition für Erwachsene die 50-Jahre-Folgeäquivalentdosen und für Kleinkinder die 70-Jahre-Folgeäquivalentdosen.

Ziel der Berechnungen ist zu prüfen, in wieweit die errechneten maximal möglichen Individualdosen für die jeweils ungünstigste Einwirkungsstelle in der Umgebung des Standortes unter Berücksichtigung sämtlicher relevanter Expositionspfade im Einklang mit den in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Grenzwerten der Körperdosen stehen. Die Berechnung nach der AVV ist im Gesamtergebnis konservativ. Sie geht u. a. von der Annahme besonderer Verzehrsgewohnheiten einer Referenzperson aus. Dabei wird angenommen, dass sich diese Person ausschließlich von Nahrungsmitteln ernährt, deren landwirtschaftliche Ausgangsprodukte am Ort der höchsten Kontamination erzeugt wurden. Bei der Berechnung blieb außer Betracht, ob an den ungünstigsten Einwirkungsstellen tatsächlich die Möglichkeit eines ständigen Aufenthalts gegeben war und ob die betrachteten Nahrungsmittel tatsächlich dort erzeugt wurden.

Die zur Berechnung der Teilkörperdosen und der Effektivdosis durch Inhalation, Ingestion und externer Bestrahlung benötigten Dosisfaktoren wurden entsprechend der Rechenvorschrift dem Bundesanzeiger 185a vom September 1989 entnommen. Um die Auswahl relevanter Klassen für die Lungenretention und Löslichkeit bei Ingestion radioaktiver Schwebstoffe zu ermöglichen, wurden die für die jeweiligen Emittenten dominierenden oder typischen chemischen Formen zu Grunde gelegt, oder – falls unbekannt – konservative Annahmen gemacht. Bei der Berechnung der Dosiswerte wurden die Tochternuklide grundsätzlich mitberücksichtigt.

Die Anwendung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift wird im Folgenden spezifiziert, und die benutzten Rechenprogramme werden kurz charakterisiert.

7.2.1.3.2 Meteorologische Daten

Die für die Ausbreitungsrechnung benötigten meteorologischen Daten werden am 200 m hohen Messturm auf dem Betriebsgelände des Forschungszentrums Karlsruhe gemessen. Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Ausbreitungskategorie werden halbstündlich gemittelt. Ihre Häufigkeitsverteilungen werden in der Ausbreitungsstatistik zusammengefasst. Die Windrose ist in zwölf 30°-Sektoren eingeteilt. Den Ausbreitungsrechnungen werden die Windgeschwindigkeit und -richtung in 60 m Höhe zu Grunde gelegt. Für andere Emissionshöhen als für die Bezugshöhe von 60 m wird die Windgeschwindigkeit aus dem Windgeschwindigkeitsprofil berechnet. Dazu werden die Exponenten des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils aus der AVV übernommen.

Gemäß AVV muss bei der Ausbreitungsrechnung für Emissionshöhen, die kleiner sind als die doppelte Gebäudehöhe, der Gebäudeeinfluss berücksichtigt werden. Die Gebäudehöhe der zu betrachtenden Emittenten beträgt im Mittel 15 m. Unterhalb einer Emissionshöhe von 30 m (doppelte Gebäudehöhe) wird der Gebäudeeinfluss dadurch berücksichtigt, dass die Ausbrei-

tungsparameter konservativ für die halbe Kaminhöhe gemäß Abschn. 4.6.2 der AVV korrigiert werden. Oberhalb von 30 m werden die Kaminhöhen als effektive Emissionshöhen betrachtet. Die horizontalen und vertikalen Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z werden entsprechend Anhang 7 der AVV aus den dort angegebenen Ausbreitungskoeffizienten ermittelt.

7.2.1.3.3 Ausbreitung und Ablagerung

Bei der Ausbreitungsberechnung wird – abweichend von der AVV – eine azimutale Gleichverteilung nicht der Aktivitätskonzentration, sondern der Windrichtungshäufigkeit innerhalb eines Sektors angenommen. Das ist sachlich richtiger und vermeidet Sprünge an den Sektorgrenzen. Bei der Ermittlung der Ablagerung radioaktiver Stoffe durch Trockendeposition werden die in der AVV angegebenen Depositionsgeschwindigkeiten für Schwebstoffe und elementares Iod berücksichtigt. Bei der Berechnung der Ablagerung durch Niederschlag kommt das standortspezifische Verfahren gemäß Abschnitt 4.2.2.1 der AVV zur Anwendung, wobei der Washoutkoeffizient für jede Niederschlagsintensitätsstufe als proportional zur jeweiligen Niederschlagsintensität angenommen wird. Der Proportionalitätsfaktor c wird aus Tab. 3 Anhang 7 der AVV entnommen. Sowohl bei der Trockendeposition, als auch bei der Ablagerung durch Niederschlag bleiben Effekte durch Abreicherung in der Abluftfahne unberücksichtigt. Dieses Vorgehen ist hinsichtlich der Dosisberechnung konservativ. Die Berechnung der Ausbreitungs- und Washoutfaktoren erfolgt auf der Grundlage der monatlichen Ableitungswerte und der monatlichen meteorologischen Statistik. Bei der Ingestion wird die auf der Pflanze abgelagerte Aktivität nur im Sommerhalbjahr berücksichtigt.

7.2.1.3.4 Rechenprogramme

Die Dosisbeiträge durch Betasubmersion, Inhalation, Ingestion und Gammabodenstrahlung sind im Wesentlichen proportional zur Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft in der Nähe des betrachteten Aufpunktes. Das Berechnungsverfahren für diese Expositionspfade ist daher prinzipiell gleich. Das FORTRAN-Programm ISOLA leistet in Verbindung mit dem FORTRAN-Programm EFFDOS die erforderlichen Rechenoperationen, indem die Dosisbeiträge der Einzelemittenten überlagert und für alle Expositionspfade und Organe ermittelt werden.

Wegen der geringen Schwächung der Gammastrahlung in Luft kann bei der Berechnung der Gamma-Submersiondosis nicht so vorgegangen werden. Hier muss für jeden Aufpunkt die Gammadosis als Summe der Dosisbeiträge der im Raum verteilten Gamma-Aktivität ermittelt werden. Das FORTRAN-Programm WOLGA errechnet die Gammadosis für einen beliebigen Aufpunkt in der Umgebung eines oder mehrerer Emittenten als Summe der Dosisbeiträge der Aktivität im Raum. Diese Berechnung wird unter Berücksichtigung der Gamma-Energien der dosisrelevanten Radionuklide durchgeführt.

Die Dosisberechnungen selbst erfolgten auf einem PC unter dem Betriebssystem Windows XP mit dem FORTRAN Compiler Visual Fortran 5.0.

7.2.1.3.5 Einteilung der radioaktiven Emissionen in Nuklidgruppen und Einzelnuklide

Zur Dosisberechnung ist es erforderlich, für die in der Bilanzierung angegebenen Nuklidgruppen Leitnuklide oder charakteristische Nuklidgemische festzulegen. Die erforderlichen anlagenspezifischen Festlegungen wurden für das Jahr 2007 überprüft und aktualisiert:

- Nuklidgruppe A_{AK} : Schwebstoffe mit kurzlebiger α -Aktivität (Halbwertszeit < 8 Tage)

Die Ableitung kurzlebiger Rn-220-Folgeprodukte durch HDB 548 und ITU wurde durch das Leitnuklid Pb-212 berücksichtigt. Die chemische Form der Aerosolaktivität ist unbekannt. Für die Lungenretentionsklasse und für die Löslichkeit wurden daher konservative Annahmen getroffen.

- Nuklidgruppe A_{AL}: Schwebstoffe mit langlebiger α -Aktivität (Halbwertszeit ≥ 8 Tage)

Die Analysen von Filtern zeigten, dass bei der Mehrzahl der Institute Pu-239 als Leitnuklid gelten kann. Ausnahmen bilden folgende Institute, bei denen vom Umgang her oder aufgrund bekannter Restkontaminationen bestimmte Leitnuklide in Frage kommen:

BTI-L, Bau 341:	Pu-238
ZAG-KAZ, Bau 351:	Ra-226

Für die HDB wurde aufgrund der Handhabung α -kontaminierter Reststoffe aus der Wiederaufarbeitung ein konservatives Gemisch aus Pu-238 (34 %), Pu-239 (7 %), Pu-240 (9 %), Am-241 (38 %) und Cm-244 (12 %) angenommen. Diese relativen Aktivitätsanteile wurden nach KORIGEN für den Umgang mit kernbrennstoffhaltigen Reststoffen mit einem mittleren Abbrand von 30 000 MWd/t und einer Kühlzeit von 14 Jahren berechnet. Es wird eine Ableitung in nitroser Form angenommen. Bei der Verbrennungsanlage der HDB (Bau 536) und bei der Wäscherei (BTI-V, Bau 705) wird eine Ableitung als Chlorid oder Hydroxid angenommen.

Bei der Festlegung des Nuklidspektrums für die WAK wurde davon ausgegangen, dass sich die Ableitungen in ihrer Zusammensetzung immer mehr dem Nuklidgemisch der Ableitungen der Lagerungs- und Verdampfungsanlage (LAVA) annähern. Daher wird für die Dosisberechnung das insgesamt konservative Gemisch der LAVA zu Grunde gelegt.

- Nuklidgruppe A_{BK}: Schwebstoffe mit kurzlebiger β -Aktivität (Halbwertszeit < 8 Tage)

Die Ableitung kurzlebiger β -Aktivität ist nur für das Zyklotron von Bedeutung. Es wird produktionsbedingt folgendes Leitnuklid angenommen:

ZAG-KAZ, Bau 351:	F-18
-------------------	------

- Nuklidgruppe A_{BL}: Schwebstoffe mit langlebiger β -Aktivität einschließlich reiner Gammastrahler (Halbwertszeit ≥ 8 Tage)

Bei Einrichtungen, die sich im Rückbau befinden, bei denen kernbrennstoffhaltige Reststoffe verarbeitet (HDB) oder bei denen mit Restkontaminationen zu rechnen ist, wird grundsätzlich Cs-137 als Leitnuklid angenommen. Ausnahmen bilden folgende Einrichtungen:

BTI-L 341:	Zusammensetzung entspricht gemessenen Kontaminationen in den Lüftungskanälen
HDB 545:	Leitnuklid Ru-106
ITU:	Zusammensetzung der Emissionen entspricht der eines β -aktiven Spaltproduktgemisches nach KORIGEN unter Annahme eines mittleren Abbrandes von 30 000 MWd/t und einer Kühlzeit > 3 Jahren
WAK:	Bei der Festlegung des Nuklidspektrums für die Ableitungen der WAK wird analog zur Nuklidgruppe A _{AL} das Emissionsspektrum der LAVA zu Grunde gelegt

Bei folgenden Instituten beschränkt sich der Umgang bzw. die Produktion auf bestimmte Radioisotope:

ITG, Bau 317:	S-35 (org.)
ZAG-KAZ, Bau 351:	Be-7

- Nuklidgruppe E/G_K: Radioaktive Edelgase und kurzlebige Aktivierungsgase

Bei der HDB, Bau 536 Verbrennung und Bau 548, sowie dem ITU wurde für die Dosisberechnung als Bezugsnuklid das radioaktive Edelgas Kr-85 betrachtet, bei IFP/IK das Edelgas Ar-41. Bei den Ableitungen des Zyklotrons (ZAG-KAZ, Bau 351) wurde das kurzlebige Aktivierungsgas N-13 als Leitnuklid zu Grunde gelegt. Bei der WAK wird angenommen, dass sich die Edelgasableitung zu gleichen Teilen aus Kr-87 und Kr-88 zusammensetzt.

- Nuklidgruppe I: Radioaktive Iodisotope

Die Dosisberechnung wurde mit allen bilanzierten Iodisotopen durchgeführt. Dabei wurde konservativerweise eine Ableitung in elementarer Form zu Grunde gelegt.

- Tritium

Grundsätzlich wird angenommen, dass Tritium als tritiiertes Wasser bzw. Wasserdampf (HTO) abgeleitet wird. Wird H-3 in Form von HT emittiert, wird in der Regel konservativ ebenfalls eine Ableitung in vollständig oxidiertes Form angenommen.

- C-14

Es wird eine Ableitung in Form von $^{14}\text{CO}_2$ zu Grunde gelegt. Bei der Dosisberechnung wurden die Inhalations-Dosisfaktoren für CO_2 und die Ingestions-Dosisfaktoren für organische Verbindungen verwendet.

7.2.1.3.6 Ergebnisse der Dosisberechnung

Unter den beschriebenen Randbedingungen wurden die Teilkörper- und Effektivdosen für Kleinkinder und Erwachsene in der Umgebung berechnet. Die für jeden einzelnen Emittenten berechnete Effektivdosis für Erwachsene am jeweiligen Immissionsmaximum wurde bereits in Tab. 7-6 in der letzten Spalte aufgeführt. Nach Überlagerung der Auswirkungen aller Emittenten ergeben sich rechnerisch – aufgeschlüsselt nach den zu berücksichtigenden Expositionspfaden – für die ungünstigsten Einwirkungsstellen außerhalb des Betriebsgeländes des Forschungszentrums die in Tab. 7-7 aufgeführten maximalen Beiträge zur effektiven Dosis.

Expositionspfad	maximale effektive Dosis	
	für Kleinkinder	für Erwachsene
Inhalation	0,008 μSv^*	0,010 μSv^{**}
Ingestion	0,39 μSv^*	0,25 μSv^{**}
Gammabodenstrahlung	0,007 μSv	0,006 μSv
Gammastrahlung	1,62 μSv	1,35 μSv
Summe über alle Expositionspfade	2,0 μSv	1,6 μSv

Tab. 7-7: Maximale rechnerische Effektivdosen in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe aufgrund der radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft im Jahr 2007 (70*- bzw. 50** - Jahre Folgedosis)

Die Dosisbeiträge durch Ingestion haben sich gegenüber dem Vorjahr wieder verringert. Ursache hierfür sind im Wesentlichen die reduzierten C-14-Ableitungen der HDB-Verbrennungsanlage (Bau 536). Weiter erhöht hat sich der Dosisbeitrag durch Gammastrahlung, hervorgerufen durch die Ableitung kurzlebiger Aktivierungsgase bei ZAG-KAZ (Bau 351). Die Einzelergebnisse für die betrachteten Expositionspfade – aufgeschlüsselt nach den in Tab. X2 der Strahlenschutzverordnung (alt) aufgeführten Organen und Geweben – sind für Kleinkinder und Erwachsene in Tab. 7-8 und Tab. 7-9 zusammengestellt.

Körperbereich	maximale Teilkörper- und Effektivdosen in μSv für Kleinkinder					
	Inhalation*	Ingestion*	Gamma-Bodenstrahlung	Gamma-submersion	Beta-submersion	Summe
Keimdrüsen	0,007	0,39	0,006	1,62	-	2,0
Brust	0,007	0,39	0,008	1,62	-	2,0
Rotes Knochenmark	0,009	0,39	0,006	1,62	-	2,0
Lunge	0,009	0,39	0,007	1,62	-	2,0
Schilddrüse	0,009	0,53	0,008	1,62	-	2,2
Knochenoberfläche	0,052	0,41	0,008	1,62	-	2,1
Haut	0,007	0,39	0,008	1,62	6,2	8,2
Sonstige	0,007	0,39	0,008	1,62	-	2,0
effektive Dosis	0,008	0,39	0,007	1,62	-	2,0
ungünstigste Einwirkungsstelle ¹	390/680	200/750	420/1470	-640/-370	-640/-370	-

¹ x/y-Koordinaten im m, bezogen auf den ehemaligen FR2-Kamin (s. Abb. 6-2)

Tab. 7-8: Maximale Körperdosen für Kleinkinder (*70-Jahre-Folgedosis) durch die radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft des Forschungszentrums Karlsruhe im Jahr 2007

Körperbereich	maximale Teilkörper- und Effektivdosen in μSv für Erwachsene					
	Inhalation*	Ingestion*	Gamma-Bodenstrahlung	Gamma-submersion	Beta-submersion	Summe
Keimdrüsen	0,009	0,25	0,005	1,35	-	1,6
Brust	0,009	0,24	0,006	1,35	-	1,6
Rotes Knochenmark	0,011	0,26	0,005	1,35	-	1,6
Lunge	0,010	0,26	0,006	1,35	-	1,6
Schilddrüse	0,010	0,50	0,006	1,35	-	1,9
Knochenoberfläche	0,079	0,29	0,006	1,35	-	1,7
Haut	0,009	0,24	0,007	1,35	6,2	7,8
Sonstige	0,009	0,24	0,005	1,35	-	1,6
effektive Dosis	0,010	0,25	0,006	1,35	-	1,6
ungünstigste Einwirkungsstelle ¹	390/680	200/750	420/1470	-640/-370	-640/-370	-

¹ x/y-Koordinaten im m, bezogen auf den ehemaligen FR2-Kamin (s. Abb. 6-2)

Tab. 7-9: Maximale Körperdosen für Erwachsene (*50-Jahre-Folgedosis) durch die radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft des Forschungszentrums Karlsruhe im Jahr 2007

Körperbereich	maximale Teilkörper- und Effektivdosen in μSv für Kleinkinder					
	Inhalation*	Ingestion*	Gamma-Bodenstrahlung	Gamma-submersion	Beta-submersion	Summe
Keimdrüsen	0,001	0,002	0,005	0,016	-	0,024
Brust	< 0,001	0,002	0,006	0,016	-	0,025
Rotes Knochenmark	0,005	0,026	0,005	0,016	-	0,052
Lunge	0,001	0,002	0,005	0,016	-	0,024
Schilddrüse	0,001	0,35	0,006	0,016	-	0,37
Knochenoberfläche	0,046	0,060	0,006	0,016	-	0,13
Haut	< 0,001	0,002	0,006	0,016	0,005	0,030
Sonstige	< 0,001	0,002	0,005	0,016	-	0,024
effektive Dosis	0,003	0,018	0,005	0,016	-	0,042
ungünstigste Einwirkungsstelle ¹	420/1470	420/1470	420/1470	420/1470	420/1470	-

¹ x/y-Koordinaten im m, bezogen auf den ehemaligen FR2- Kamin (s. Abb. 6-2)

Tab. 7-10: Maximale Körperdosen für Kleinkinder (*70-Jahre-Folgedosis) durch die radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft der WAK im Jahr 2007

Körperbereich	maximale Teilkörper- und Effektivdosen in μSv für Erwachsene					
	Inhalation*	Ingestion*	Gamma-Bodenstrahlung	Gamma-submersion	Beta-submersion	Summe
Keimdrüsen	0,001	0,006	0,004	0,013	-	0,024
Brust	< 0,001	0,005	0,005	0,013	-	0,024
Rotes Knochenmark	0,006	0,053	0,004	0,013	-	0,076
Lunge	0,009	0,005	0,005	0,013	-	0,032
Schilddrüse	0,001	0,39	0,005	0,013	-	0,41
Knochenoberfläche	0,070	0,14	0,005	0,013	-	0,23
Haut	< 0,001	0,004	0,005	0,013	0,005	0,028
Sonstige	< 0,001	0,005	0,005	0,013	-	0,024
effektive Dosis	0,004	0,027	0,004	0,013	-	0,048
ungünstigste Einwirkungsstelle ¹	420/1470	420/1470	420/1470	420/1470	420/1470	-

¹ x/y-Koordinaten im m, bezogen auf den ehemaligen FR2- Kamin (s. Abb. 6-2)

Tab. 7-11: Maximale Körperdosen für Erwachsene (*50-Jahre-Folgedosis) durch die radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft der WAK im Jahr 2007

Die regionale Verteilung der Effektivdosen für Kleinkinder und Erwachsene in der Umgebung des Forschungszentrums als Summe der Dosisbeiträge aller Expositionspfade am jeweils betrachteten Ort sind in Abb. 7-6 und in Abb. 7-7 in Form von Isodosislinien dargestellt.

Obwohl die in den Tab. 7-8 und Tab. 7-9 angegebenen Werte bereits die Emissionen der WAK mitberücksichtigen, wird gemäß behördlicher Auflage eine gesonderte Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe durch die mit der Fortluft der WAK abgeleiteten Aktivität durchgeführt. Die errechneten Körperdosen sind für Kleinkinder und Erwachsene in Tab. 7-10 und Tab. 7-11 zusammengestellt.

Aus den Ableitungen aller Emittenten im Jahr 2007 ergibt sich rechnerisch eine mittlere Effektivdosis für eine erwachsene Person der Bevölkerung im Umkreis von 5 km Radius um das Forschungszentrum von $0,05\mu\text{Sv}$ und von $0,02\mu\text{Sv}$ für einen Umkreis von 10 km Radius. Alle für die ungünstigsten Einwirkungsstellen berechneten Teilkörper- und Effektivdosen liegen selbst nach Summation über alle Expositionspfade deutlich unter den entsprechenden Grenzwerten nach § 47 der Strahlenschutzverordnung.

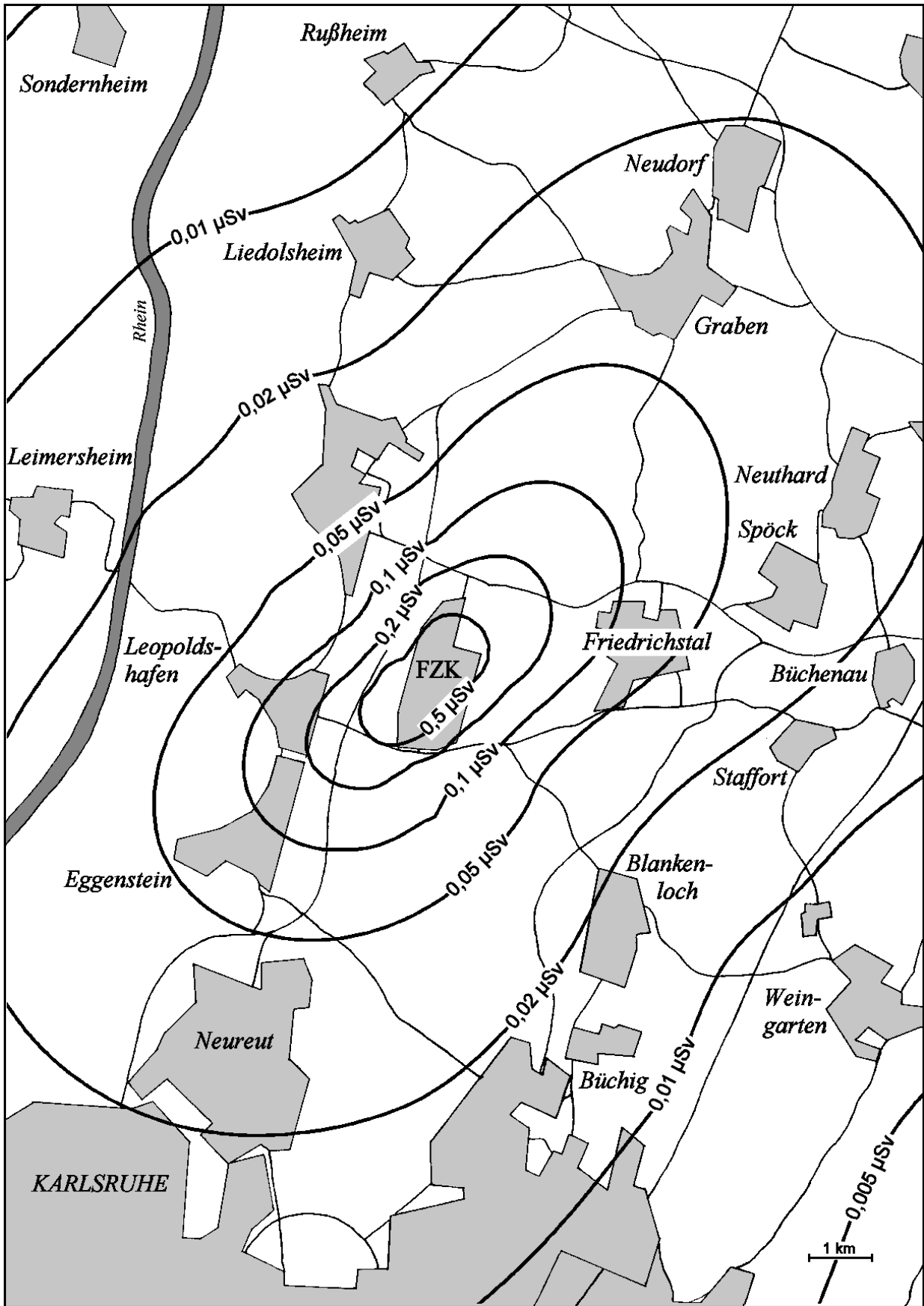


Abb. 7-6: Errechnete Effektivdosen für Kleinkinder in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe, 50-Jahre-Folgedosis aufgrund der radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft im Jahr 2007

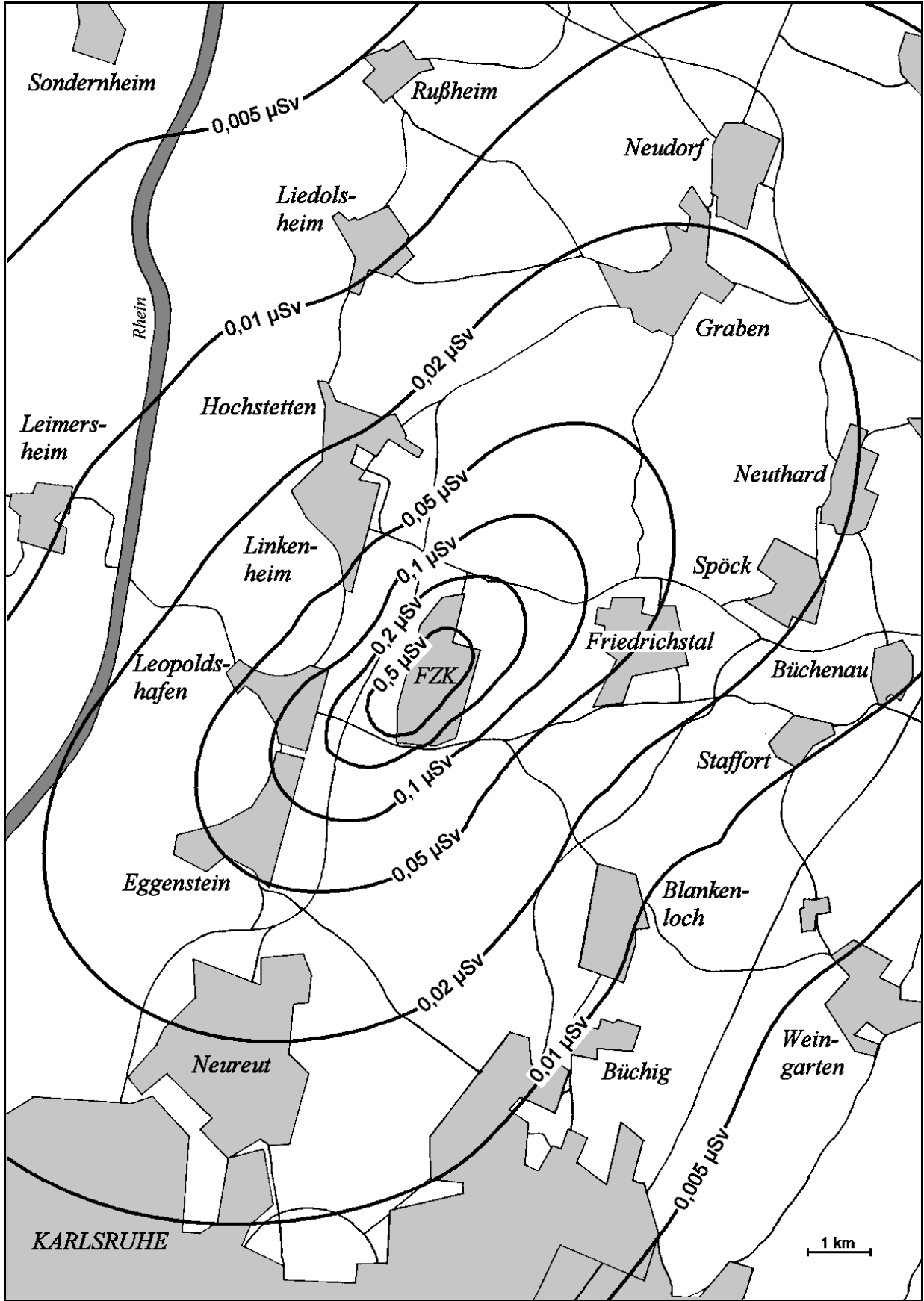


Abb. 7-7: Errechnete Effektivdosen für Erwachsene in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe, 50-Jahre-Folgedosis aufgrund der radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft im Jahr 2007

7.2.2 Abwasserüberwachung

Chr. Wilhelm, K.-G. Langguth, C. Leim

Die Überwachung des auf dem Betriebsgelände des Forschungszentrums Karlsruhe anfallenden Abwassers erfolgt im Rahmen wasserrechtlicher Erlaubnisbescheide und einer atomrechtlicher Genehmigung, die von den zuständigen Behörden des Landes Baden-Württemberg erteilt wurden. Die Überwachung radioaktiver Stoffe im Rahmen der Genehmigung erfolgt durch das „Physikalische Messlabor“ der HS-ÜM, die Überwachung nichtradioaktiver Stoffe erfolgt durch das „Labor für Wasser und Umwelt“ des BTI-V.

Das auf dem Gelände des Forschungszentrums anfallende Abwasser setzt sich aus Niederschlagswasser, häuslichem Abwasser, Kühlwasser und Chemieabwasser zusammen. Das Niederschlags- und Kühlwasser, das häusliche Abwasser und das Chemieabwasser werden innerhalb des Betriebsgeländes in getrennten Systemen abgeleitet.

Das Kühlwasser und das von versiegelten Flächen abfließende Niederschlagswasser werden über Sandfänge in den unmittelbar an das Forschungszentrum angrenzenden Hirschkanal eingeleitet. Vom eingeleiteten Wasser werden kontinuierlich Temperatur, Leitfähigkeit und pH-Wert gemessen und die Messwerte in einer Schaltwarte bei BTI angezeigt, um bei Überschreitung vorgegebener Grenzwerte unmittelbar Gegenmaßnahmen ergreifen zu können. Die Aktivitätskonzentration im Wasser des Hirschkanals wird unterhalb der Einleitungsstellen durch kontinuierliche Probenentnahme im Rahmen der Umgebungsüberwachung kontrolliert (s. Kap. 7.2.3).

Die häuslichen Abwässer werden der biologischen Klärung zugeführt, in mehreren Verfahrensschritten gereinigt und kontinuierlich in den Vorfluter abgeleitet (s. Abb. 7-8). Die Abwässer werden gemäß der Eigenkontrollverordnung überwacht. Zusätzlich wird im Hinblick auf Innentäter, Terrorismus, Entwendung oder Verschleppung das Schmutzwasser durch Messung kontinuierlich genommener Monatsmischproben hinsichtlich radioaktiver Stoffe überwacht.

Die im Forschungszentrum anfallenden Chemieabwässer werden entsprechend ihrer Herkunft, ihrer Verunreinigung und ihres Aktivitätsgehaltes in unterschiedliche Einzelsysteme des Chemieabwassernetzes eingeleitet. Chemieabwässer aus Betriebsstätten oder Gebäuden, in denen nicht mit radioaktiven Stoffen umgegangen wird, werden in das Chemieabwassernetz I eingeleitet und der Kläranlage für Chemieabwasser zugeführt. Chemieabwässer aus Kontrollbereichen oder aus Betriebsstätten, in denen mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird und die gemäß der atomrechtlichen Genehmigung zu überwachen sind (Chemieabwasser II), werden am Anfallort in sogenannten Abwassersammelstationen gesammelt. Anhand der im Physikalischen Messlabor durchgeführten Aktivitätsmessung wird gemäß der atomrechtlichen Genehmigung über die direkte Einleitung in die Chemiekläranlage als Chemieabwasser I oder Einspeisung in die Dekontaminationsanlage als Chemieabwasser III entschieden (s. Abb. 7-8).

Chemieabwässer, die möglicherweise organische Lösungsmittel enthalten (Chemieabwasser IV), werden in speziellen Behältern gesammelt und bei Herkunft aus Kontrollbereichen oder Betriebsstätten, in denen mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, auch hinsichtlich Radioaktivität überwacht. Bestätigt die chemische Analyse das Vorhandensein von Lösungsmitteln, so werden diese Abwässer gesondert entsorgt.

Die Abwässer aus der Dekontaminationsanlage werden in Übergabebehältern gesammelt. Vor einer Ableitung werden sie ebenfalls einer Kontrollmessung unterzogen und bei Überschreitung der Werte der Genehmigung erneut dekontaminiert, andernfalls in die Kläranlage für Chemieabwasser eingeleitet. Das in die Chemiekläranlage eingeleitete Chemieabwasser wird in einem mehrstufigen Prozess gereinigt und in den zwei Speicherbecken für Chemieabwasser mit je 750 m³ Fassungsvermögen gesammelt (s. Abb. 7-8).

Im gereinigten Abwasser werden die Konzentrationen der radioaktiven und bestimmter nicht-radioaktiver Stoffe ermittelt. Anhand der atomrechtlichen Genehmigung und der wasserrechtlichen Erlaubnis wird über die Ableitung entschieden. Über eine 6,7 km lange Rohrleitung werden die Abwässer – zusammen mit den geklärten Abwässern der Gemeinde Eggenstein-Leopoldshafen - in den Rhein eingeleitet.

Zusätzlich zu den Entscheidungsmessungen, die vor Abgabe des Abwassers aus den Abwassersammelstationen, der Dekontaminationsanlage und den Speicherbecken durchzuführen sind, wird die mit dem Abwasser des Forschungszentrums abgeleitete Aktivität durch nuklidspezifische Analysen von Monats- und Quartalsmischproben, die mengenproportional aus Teilmengen der einzelnen abgeleiteten Abwasserchargen herzustellen sind, bilanziert. Die bilanzierte Aktivität darf die ebenfalls in der atomrechtlichen Genehmigung festgelegten Jahresableitungsgrenzwerte für Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser nicht überschreiten. Die genehmigten Jahresableitungsgrenzwerte und zulässigen Konzentrationen radioaktiver Stoffe im Abwasser wurden im Zuge der Antragstellung zur Erteilung der atomrechtlichen Genehmigung durch einen von der Aufsichtsbehörde bestellten Gutachter überprüft.

Die Eigenüberwachung der radioaktiven Emissionen mit dem Abwasser aus dem Forschungszentrum wird durch Messungen behördlich beauftragter Sachverständiger kontrolliert. Aufgrund behördlicher Anordnung wird auf das Forschungszentrum sinngemäß das Programm zur „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken“ gemäß der Richtlinie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 05.02.1996 angewandt. Danach werden durch das Bundesamt für Strahlenschutz, das als beauftragter Sachverständiger von der Behörde hinzugezogen wurde, Kontrollmessungen an Monats- und Quartalsmischproben durchgeführt.

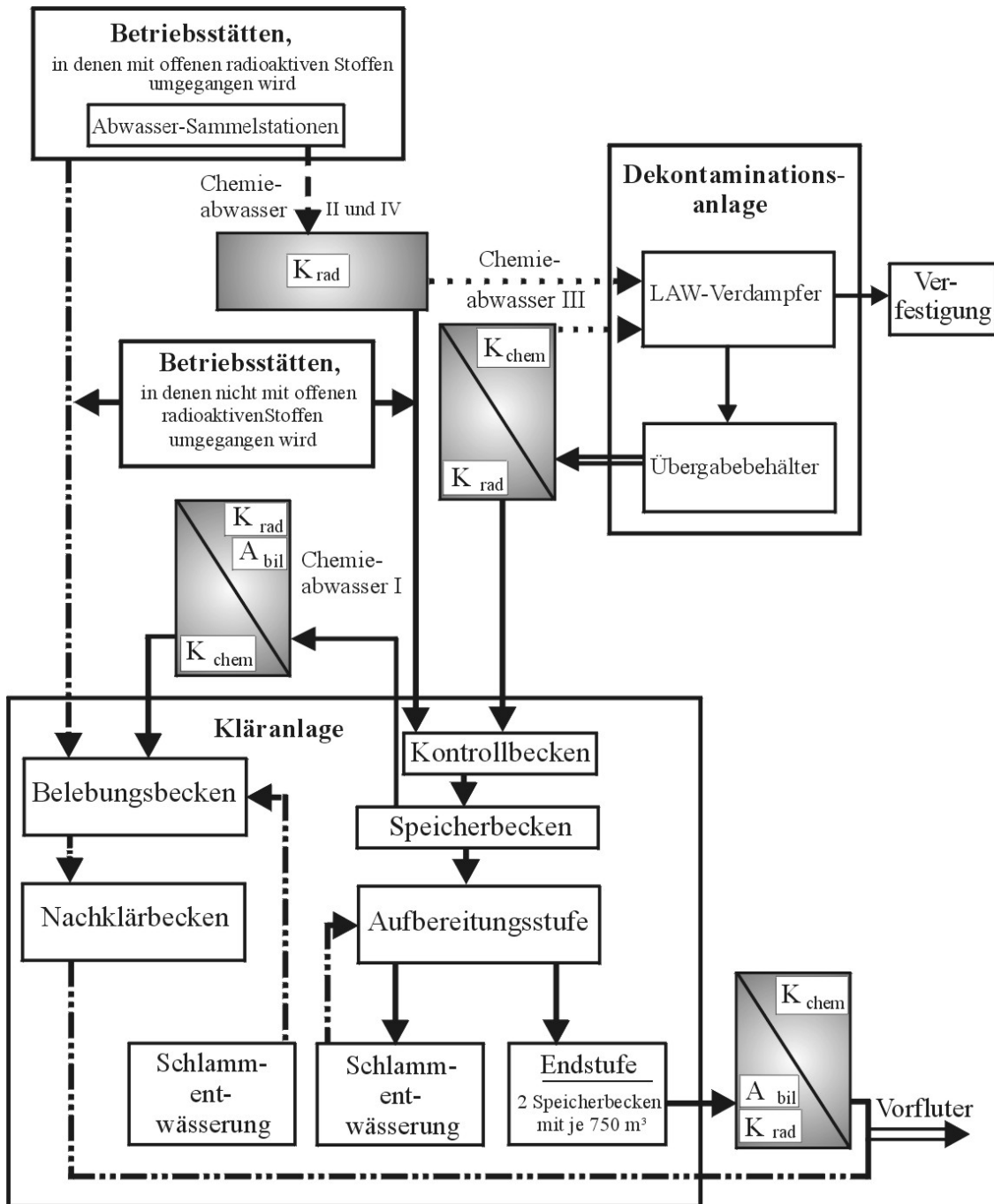


Abb. 7-8: Vereinfachtes Fließschema der Abwässer im Forschungszentrum Karlsruhe (Krad: Kontrollmessung radioaktiver Stoffe; Kchem: Kontrollmessung nicht-radioaktiver Stoffe, Abil: Bilanzierung der Ableitung radioaktiver Stoffe)

7.2.2.1 Ableitung nichtradioaktiver Stoffe mit dem Abwasser im Jahr 2007

U. Berg (BTI-V), Chr. Wilhelm

Die Überwachung der aus der Kläranlage für Chemieabwasser und der Kläranlage für häusliches Abwasser in den Vorfluter eingeleiteten Abwässer hinsichtlich nichtradioaktiver Stoffe wird von BTI-V durchgeführt.

Zur Ermittlung der Jahresabgaben dienen dabei die Ergebnisse der Messungen, die an den einzelnen Speicherbeckenchargen der Chemiekläranlage gemäß den Vorgaben des wasserrechtlichen Erlaubnisbescheides und an qualifizierten Stichproben aus dem Ablauf der biologischen Kläranlage gemäß der Eigenkontrollverordnung des Landes Baden-Württemberg durchgeführt

wurden. Darüber hinaus wurden zahlreiche weitere Stoffe zur Eigenkontrolle in die Überwachung einbezogen. In Tab. 7-12 sind die bilanzierten Ableitungen mit dem Chemieabwasser und dem häuslichen Abwasser sowie in Tab. 7-12 die errechneten Jahreskonzentrationsmittelwerte für das Jahr 2007 wiedergegeben. Die Grenzwerte wurden aufgrund der Entleerung und Reinigung der Belebungsbecken der biologischen Kläranlage im Mai 2007 zweimal bezüglich des Gesamtstickstoffs (N ges) überschritten. Die wasserrechtliche Aufsichtsbehörde wurde diesbezüglich informiert.

In der Schmutzwasserkläranlage waren die mittleren Konzentrationen bezüglich CSB, BSB₅, Ammonium-N, Phosphat-P ges, AOX, Eisen, Zink und Chlorid im Ablauf geringer als im Vorjahr. In der Chemiekläranlage erreichte die Ableitung von CSB, Ammonium-N, Phosphat-P ges, AOX und Zink geringere mittlere Konzentrationen als im Vorjahr.

Es wurde ca. 11 % weniger häusliches Abwasser gegenüber dem Vorjahr abgeleitet. Dafür fiel das 1,8fache an Chemiewasser an, verglichen mit dem Jahr 2006. Unter Berücksichtigung dieser Verschiebung der Volumenströme im Vergleich zum Vorjahr kam es dennoch zu einer Frachterhöhung bezüglich des CSB, des BSB₅, an Nitrat- und Nitrit-N, an AOX, Eisen, Mangan, Nickel und Zink im häuslichen Schmutzwasser. Im Chemieabwasser zeigten sich eine leichte Frachterhöhung für Mangan und Nickel sowie ein signifikanter Anstieg der Fracht an Eisen.

Parameter	Chemieabwasser [kg/a]	Häusliches Abwasser [kg/a]
Chem. Sauerstoffbedarf (CBS)	501	2142
Biochem. Sauerstoffbedarf (BSB ₅)	n.b.	≤179
absorbierbare organische Halogenverbindungen	1,01	2,43
flüchtige organische Halogenverbindungen (POX)	≤0,236	n.b.
mineralöhlhaltige Kohlenwasserstoffe (KW)	≤4,25	n.b.
Gesamtstickstoff (N ges.)	40,1	n.b.
organ. gebundener Stickstoff (N org.)	n.b.	n.b.
Chlorid	n.b.	n.b.
Nitrat - N	≤1,93	270
Nitrit - N	≤1,38	≤21,6
Phosphat - P ges	≤11,9	26,5
Sulfat	n.b.	n.b.
Ammonium - N	≤36,8	≤158
Cadmium	≤0,12	≤0,66
Chrom	≤0,12	≤0,69
Eisen	2,65	5,64
Quecksilber	n.b.	n.b.
Blei	≤0,12	≤0,66
Kobalt	≤0,12	≤0,66
Kupfer	≤0,12	≤0,73
Mangan	0,60	6,28
Nickel	0,47	1,44
Zink	0,34	4,88

Tab. 7-12: Bilanzierte Mengen der im Jahr 2007 mit dem Chemieabwasser (11806 m³) und dem häuslichen Abwasser (66049 m³) in den Vorfluter abgeleiteten nichtradioaktiven Stoffe; n.b.: nicht bilanziert

Parameter	Mittelwert Chemiekläranlage [mg/l]	Mittelwert Schmutz- wasserkläranlage [mg/l]
pH-Wert	6,9	7,1
absetz. Stoffe	n. a.	≤ 0,1
absorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX)	0,086	≤ 0,037
flüchtige organische Halogenverbindungen (POX)	≤ 20	≤ 20*
mineralöhlhaltige Kohlenwasserstoffe (KW)	≤ 0,36	n. a.
Biochem. Sauerstoffbedarf (BSB ₅)	n. a.	≤ 2,72
chem. Sauerstoffbedarf (CSB)	42,5	32,4
Phenol-Index	n. a.	n. a.
Cadmium	≤ 0,01	≤ 0,01
Chrom ges.	≤ 0,01	≤ 0,01
Eisen gesamt	0,225	0,085
Quecksilber	≤ 0,02*	≤ 0,02*
Blei	≤ 0,01	≤ 0,01
Kobalt	≤ 0,01	≤ 0,01
Kupfer	≤ 0,01	≤ 0,01
Mangan	0,051	0,095
Nickel	0,040	≤ 0,022
Zink	0,029	0,074
Calcium	211	86,6
Magnesium	16,1	13,2
Aluminium	0,049	0,025
Barium	0,042	0,052
Ammonium-N	≤ 3,12	≤ 2,39
Chlorid	464*	257*
Sulfat	355*	77,4*
Cyanid gesamt	≤ 0,005*	n. a.
Fluorid	0,791	n. a.
Nitrat-N	≤ 0,163	4,09
Nitrit-N	≤ 0,117	≤ 0,327
Phosphat-P ges.	1,01	0,401

Tab. 7-13: Jahreskonzentrationsmittelwerte der im Jahr 2007 mit dem Chemieabwasser (n=18) und dem häuslichen Abwasser (n=50) in den Vorfluter abgeleiteten nichtradioaktiven Stoffe; n. a.: nicht analysiert; *Angaben aus Quartalsproben (n=4)

7.2.2.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser 2007

C. Leim, Chr. Wilhelm

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wird anhand von Mischproben bilanziert. Dazu werden mengenproportionale Proben der einzelnen Speicherbeckenfüllungen zu Monats- und Quartalsmischproben vereinigt und am Ende des Sammelzeitraumes analysiert. Neben der Bestimmung der Aktivität von Tritium erfolgen bei Monatsmischproben auch nuklidspezifische Messungen mittels Gamma-Spektroskopie. Bei den Quartalsmischproben werden die Gesamt-Alpha-Aktivität und nach einer chemischen Aufbereitung der Proben die Konzentration von Strontiumisotopen sowie von C-14 und S-35 ermittelt. Bei einer Gesamt-Alpha-Aktivität $\geq 0,5 \text{ kBq/m}^3$ müssen zusätzlich die folgenden Radionuklide radiochemisch bestimmt werden:

Pu-238, Pu-239/240, Pu-241, Am-241 und Am-243. Da im Jahr 2007 bei allen Quartalsmischproben die Gesamt-Alpha-Aktivität kleiner als 0,5 kBq/m³ war, konnte auf die radiochemische Bestimmung der Plutonium- und Americiumisotope verzichtet werden. In Tab. 7-14 sind die anhand von Monats- und Quartalsmischproben ermittelten Gesamtableitungen radioaktiver Stoffe im Jahr 2007 wiedergegeben. Zum Vergleich sind die Vorjahreswerte und die Genehmigungswerte mit angegeben. Um die atomrechtliche Genehmigung einzuhalten, muss für die nachgewiesenen Radionuklide gewährleistet werden, dass die Summe der Verhältniszahlen aus der gemessenen Aktivitätsabgabe und den Genehmigungswerten der einzelnen Radionuklide kleiner oder höchstens gleich 1 ist (im Jahr 2007 betrug das Verhältnis 0,01).

Radionuklid	Genehmigungswerte J _n für die Aktivitäts- abgaben in Bq/a	bilanzierte Ableitungen in Bq/a	
		2007	2006
H-3	8,0 E+13	1,2 E+11	1,6 E+12
Co-57	2,0 E+10	-	9,1 E+04
Co-60	1,0 E+09	2,1 E+05	-
Sr-90	3,0 E+09	4,1 E+06	8,3 E+06
Cs-137	3,0 E+09	7,0 E+06	1,2 E+07
Ges. Alpha	4,0 E+08*	3,4 E+06	1,3E+06
aus dem Forschungs- zentrum abgeleitete Chemieabwasser- menge in m ³	-	21 400	22 200

Tab. 7-14: 2007 aus dem Forschungszentrum Karlsruhe abgeleitete Abwassermenge und -aktivität sowie Genehmigungswerte gemäß atomrechtlicher Genehmigung (* Wert des Alphastrahlers mit dem niedrigsten Genehmigungswert.)

Bei den bilanzierten Ableitungen dominiert das in Form von HTO abgeleitete Tritium. Einen Überblick über die Entwicklung der mit dem Abwasser des Forschungszentrums Karlsruhe abgeleiteten Tritiumaktivität in den letzten 10 Jahren gibt die Abb. 7-9.

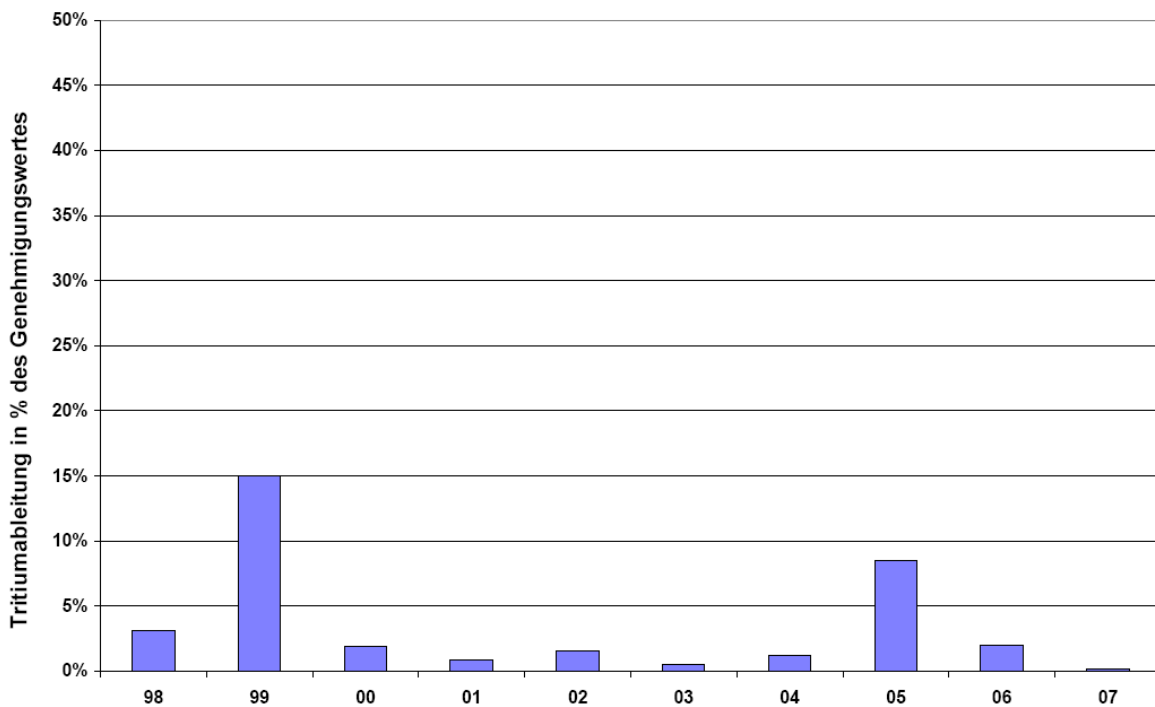


Abb. 7-9: Entwicklung der mit dem Abwasser aus dem Forschungszentrum Karlsruhe jährlich abgeleiteten Tritiumaktivität seit 1998

7.2.2.3 Strahlenexposition in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe durch die mit dem Abwasser in den Rhein abgeleiteten radioaktiven Stoffe im Jahr 2007

K.-G. Langguth

Die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser des Forschungszentrums Karlsruhe in den Rhein resultierende Strahlenexposition wurde unter Anwendung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 StrlSchV vom 30.06.1989 berechnet. Die Berechnung wurde mit Hilfe des Programms STARS durchgeführt. Dabei wurden die Effektiv- und Organdosen - jeweils für Erwachsene und Kleinkinder - als 50-Jahre-Folgeäquivalentdosen ermittelt. Die Berechnung erfolgte mit den Parametern und den Expositionspfaden, die auch im Gutachten im Auftrag des UM zum Antrag des Forschungszentrums auf Einleitung des Abwassers in den Rhein zur Anwendung kamen. An der Einleitungsstelle wurde dabei von einem mittleren Abfluss MQ von 1 260 m³/s ausgegangen. Die berechneten effektiven Dosen und ggf. die jeweils größten Dosen der relativ zum Grenzwert der StrlSchV stärker exponierten Organe für Erwachsene und Kleinkinder für die Ableitung in den Rhein sind in Tab. 7-15 wiedergegeben.

Die Rechenergebnisse zeigen, dass für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser in den Rhein die Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung (Grenzwert für die effektive Dosis: 3 E-04 Sv/Jahr) deutlich unterschritten werden.

Bilanzierte Aktivitätsableitungen 2007		Maximale Körper-Folgeäquivalentdosen in Sv			
		Erwachsene		Kleinkinder	
Nuklid	Aktivität in Bq	Effektive Dosis	Dosis für das relativ am stärksten exponierte Organ	Effektive Dosis	Dosis für das relativ am stärksten exponierte Organ
H-3	1,2 E+11	1,3 E-09		1,3 E-09	
Co-60	2,1 E+05	2,9 E-11		4,3 E-11	
Sr-90	4,1 E+06	3,2 E-10	1,6 E-09 (RK)	2,0 E-10	8,6 E-10 (RK)
Cs-137	7,0 E+06	1,4 E-09		3,6 E-10	
Gesamt-Alpha*	3,4 E+06	2,0 E-09	3,7 E-08 (KO)	1,1 E-09	1,5 E-08 (KO)
Summe, gerundet		5,0 E-09	-	3,0 E-09	-

(RK): Rotes Knochenmark; (KO): Knochenoberfläche

* Bei der Gesamt-Alpha-Aktivität wurde in konservativer Weise angenommen, dass es sich ausschließlich um Pu-240 handelte. Pu-240 ist von den Alpha-Strahlern, die in den letzten zehn Jahren mit dem Abwasser aus dem Forschungszentrum abgegeben wurden, das Nuklid mit der höchsten Strahlenexposition je Aktivitätseinheit.

Tab. 7-15: Maximale Körper-Folgeäquivalentdosen, berechnet aus den bilanzierten Aktivitätsableitungen mit dem Abwasser in den Rhein im Jahr 2007

7.2.3 Radiologische Umgebungsüberwachung

A. Wicke, B. Vobl, B. Messerschmidt, W. Bohn

Die Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe wird nach einem vom Umweltministerium Baden-Württemberg angeordneten Routinemessprogramm überwacht. Das überwachte Gebiet umfasst eine Fläche von ca. 120 km². Die meisten Mess- und Probenentnahmeorte liegen, wie in Abb. 7-11 dargestellt, innerhalb eines Bereichs von ca. 6 km Radius um das Forschungszentrum Karlsruhe. Die Mess- und Probenentnahmeorte innerhalb des Forschungszentrums Karlsruhe sind in Abb. 7-12 dargestellt.

Das seit Mai 2001 gültige Umgebungsüberwachungsprogramm wurde hinsichtlich der Vorgaben der neuen Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung (REI) vom 23. März 2006 formal aktualisiert. Inhaltlich ergaben sich gegenüber dem bestehenden Programm keine Änderungen. Die Programmpunkte wurden an die Vorgaben aus Anhang A.1 und A.3 der REI (Kernkraftwerke) angepasst. Lediglich die Überwachung von pflanzlichen Nahrungsmitteln und Sediment beziehen sich auf Programmpunkte der unabhängigen Messstelle (Anhang A.2).

Das auflagenbedingte Überwachungsprogramm umfasst die Ermittlung der direkten Strahlenexposition sowie die Messung der Aktivität von Probenmaterialien aus verschiedenen Umweltmedien. Monatliche Messfahrten dienen dem Training des Einsatzpersonals bei Störfällen. Wenn sich im Rahmen der Routineüberwachung gegenüber bekannten Schwankungsbereichen signifikant erhöhte Messwerte ergeben, werden ergänzende, zeitlich befristete Überwachungsmaßnahmen durchgeführt. Die sehr umfangreiche Zusammenstellung aller Einzelmessergebnisse wird für jedes Quartal den Aufsichtsbehörden zugeleitet.

Im Jahr 2007 wurden 506 Proben genommen und 932 Radioaktivitätsmessungen durchgeführt, wobei der größte Anteil der Proben weiterhin auf die Überwachung der Umweltbereiche Luft (Schwebstoffe) und Niederschlag entfällt (Abb. 7-10).

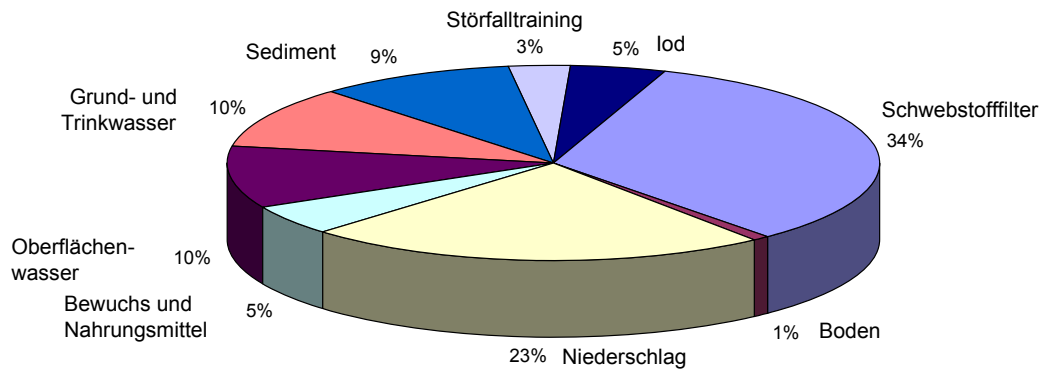
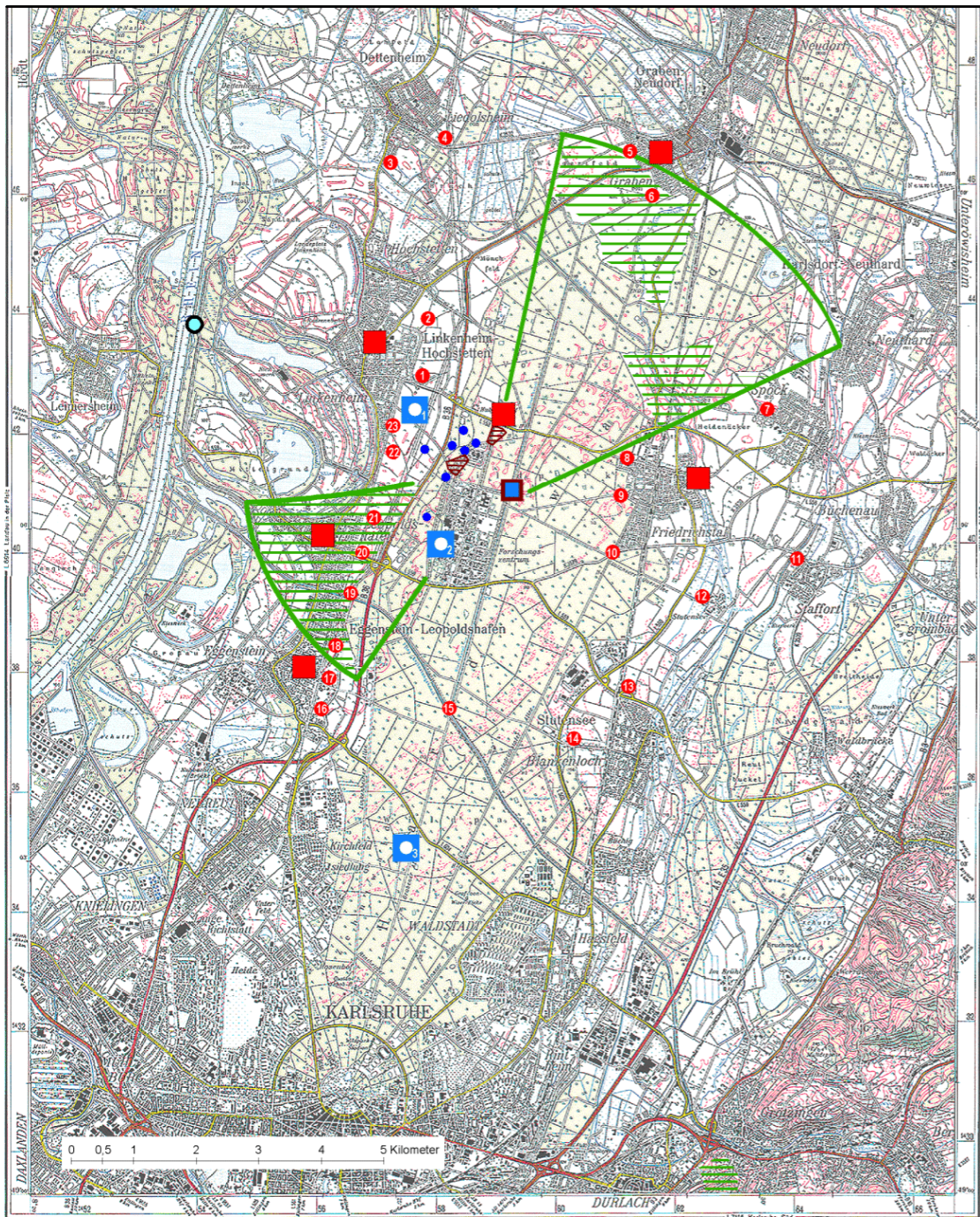


Abb. 7-10: Prozentuale Verteilung der Anzahl von Proben zur Umgebungsüberwachung, bezogen auf einzelne Umweltmedien

Die Ergebnisse der Messungen der Umgebungsüberwachung werden auf Wunsch des Umweltministeriums Baden-Württemberg mit Jahresbeginn 2007 in das Integrierte Mess- und Informationssystem des Bundes (IMIS) eingepflegt. Das IMIS stellt einen Berichtsgenerator zur Verfügung, mit dem die nach REI erforderlichen Quartals- und Jahresberichte im PDF-Format erzeugt und ins IMIS-Dokumentensystem eingestellt werden können. Nach Freigabe durch die Aufsichtsbehörden stehen die Berichte allgemein zur Verfügung.



Legende

Grundlage Topografische Karte 1:50 000,
Copyright Landesvermessungsamt Baden-Württemberg,
<http://www.lv-bw.de>

- | | |
|--|---|
|  Außenstation |  Hauptausbreitungsspektoren |
|  Festkörperdosimeter (Messorte Nr. 1 - 23) |  Landwirtschaftliche Produkte und Boden |
|  Trinkwasser (Wasserwerke)
1 = Linkenheim, 2 = FZK Süd, 3 = Karlsruhe-Hardtwald |  Boden |
|  Grundwasser |  Gemeinsame Einleitungsstelle für die Abwässer der Gemeinde
Eggenstein-Leopoldshafen und des Forschungszentrums Karlsruhe
bei Rhein-km 373,752 |
|  kontinuierliche Sammlung von Oberflächenwasser und
Sediment unterhalb der Regen- und Kühlwassereinleitungen | |

Abb. 7-11: Lageplan der Mess- und Probenentnahmestellen zur Umgebungsüberwachung außerhalb des Forschungszentrums Karlsruhe

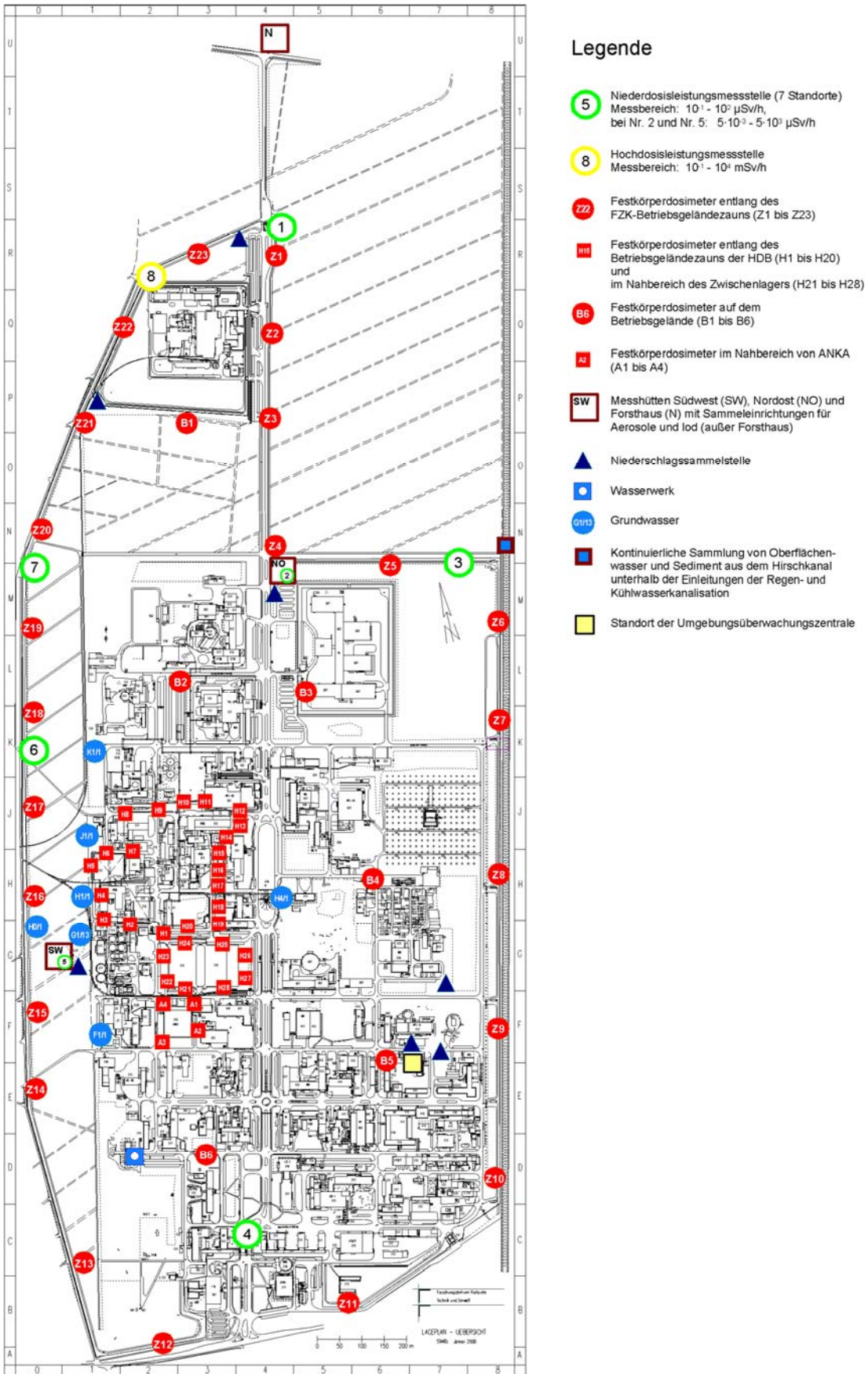


Abb. 7-12: Lageplan der Mess- und Probenentnahmestellen zur Umgebungsüberwachung innerhalb des Forschungszentrums Karlsruhe

Das Routineüberwachungsprogramm zur Überwachung der Umgebung hat folgende Struktur:

- I Direktmessung der Strahlung
 - Außenstationen
 - Monitoranlage zur Überwachung des Betriebsgeländes einschließlich WAK
 - Festkörperdosimeter
- II Radioaktivitätsmessungen
 - Luft
 - Niederschlag
 - Boden
 - Bodenoberfläche
 - Bewuchs
 - Pflanzliche Nahrungsmittel
 - Oberflächenwasser
 - Sediment
 - Grund- und Trinkwasser
- III Messfahrten (Störfalltraining)
 - γ -Ortsdosisleistung
 - Schwebstoffe
 - Bodenoberfläche
 - Boden

7.2.3.1 Direktmessung der Strahlung

Zur Direktmessung der Strahlung befinden sich zwei Online-Systeme im Einsatz. Das eine System, die Monitoranlage, dient der Überwachung der Ortsdosisleistung entlang des Betriebsgeländezauns. Das andere System, die Außenstationen, dient zur Überwachung des Strahlenspiegels in den umliegenden Ortschaften. Im Jahr 2007 wurden keine Überschreitungen der Warnschwelle von $0,5 \mu\text{Sv/h}$ an der Monitoranlage registriert. Die gemessene Ortsdosisleistung bei den Außenstationen folgte den natürlichen Schwankungen (keine signifikanten Erhöhungen). In Abb. 7-13 sind die Wochenmittelwerte der γ -Ortsdosisleistung im Jahr 2007 an den Außenstationen der nächstgelegenen Ortschaften und an der Station „Forsthaus“ dargestellt. Der Schwankungsbereich der Ortsdosisleistung lag zwischen 67 und 95 nSv/h . Die Unterschiede des Strahlenspiegels werden im Wesentlichen durch messgerät- und standortspezifische Parameter bestimmt.

Die Direktstrahlung wird auch als Jahresortsdosis mit integrierenden Thermolumineszenzdosimetern gemessen. An den 23 Messorten entlang des Zauns des Betriebsgeländes lag die Ortsdosis im Bereich von $0,60$ bis $0,69 \text{ mSv/a}$, bei einem Mittelwert von $0,64 \text{ mSv/a}$ (Abb. 7-14). Die Dosimeterstandorte sind aus Abb. 7-12 zu ersehen. Der Maximalwert wurde am Westzaun ermittelt. Die Messwerte der 23 Umgebungsdosimeter in den umliegenden Ortschaften reichten von $0,59$ bis $0,90 \text{ mSv/a}$, bei einem Mittelwert von $0,68 \text{ mSv/a}$ (Abb. 7-14), (Dosimeterstandorte siehe Abb. 7-11). Die Dosimeter vom Standort Nr. 3, 17, 21 sind im Berichtsjahr abhanden gekommen. An den Standorten 16 und 18 in den umgebenden Ortschaften wurden im Vergleich zu den anderen Standorten erhöhte Dosiswerte von $0,78$ bzw. $0,90 \text{ mSv}$ gemessen. Auffällig ist, dass beide Dosimeter in unmittelbarer Nähe von Bahnstrecke exponiert waren. Dosisleistungsmessungen vor Ort konnten die erhöhten Werte bestätigen, deren Ursache im Radioaktivitätsgehalt natürlicher Radionuklide im Schotter der Bahntrasse begründet ist.

Vergleicht man die mittlere Jahresdosis auf dem Betriebsgelände und in den umliegenden Ortschaften (ausgenommen die Dosiswerte der Standorte 16 und 18) mit der mittleren Vorjahresdosis, so errechnet sich eine Dosiserhöhung um rund 6,5 % auf. Der Grund hierfür liegt in der Umstellung der bisherigen Messgröße H_x auf die neue Messgröße $H^*(10)$ für die Umgebungs-Äquivalentdosis. Laut Aussage der Messstelle bei HS-KES bewirkt allein die Kalibrierung mit der neuen Messgröße ein Anstieg der Messwerte um 5,8 %.

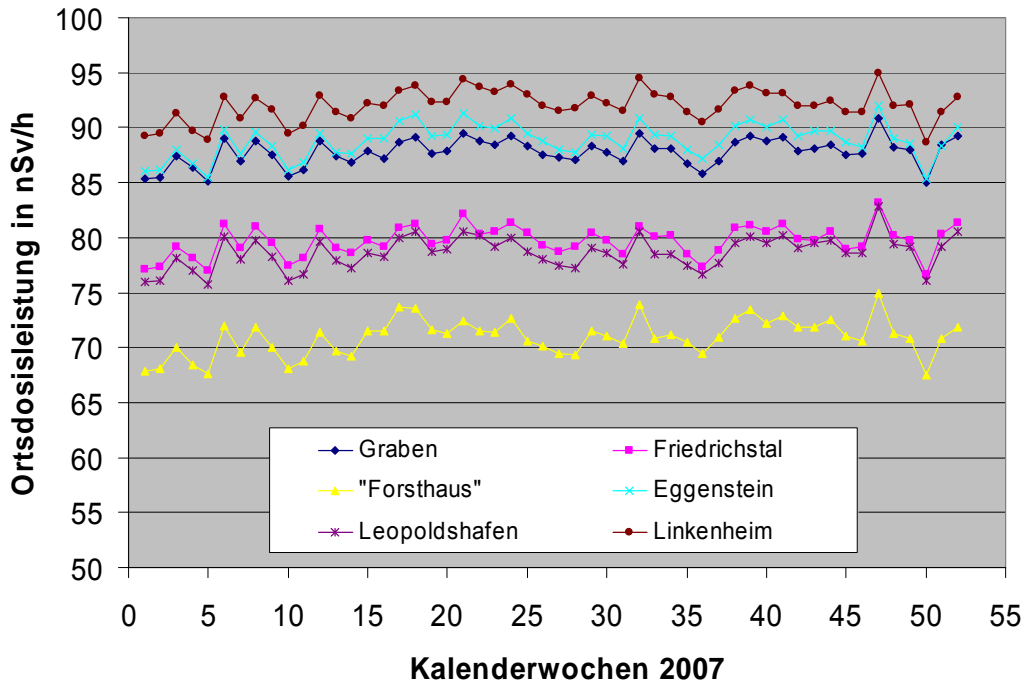


Abb. 7-13: Wochenmittelwerte der γ -Ortsdosisleistung im Jahr 2007 in den nächstgelegenen Ortschaften und am „Forsthaus“

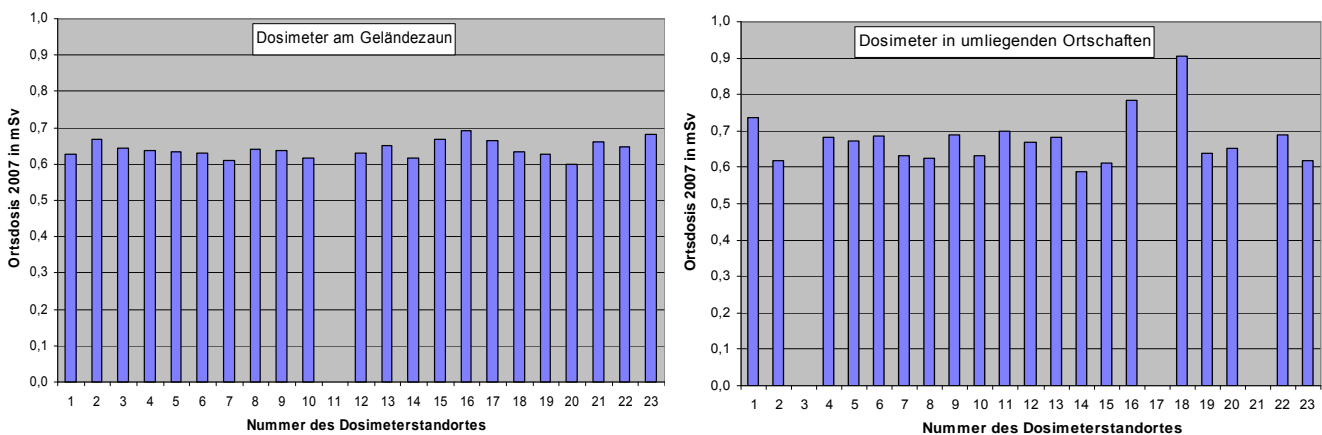


Abb. 7-14: Messwerte der Ortsdosis im Jahr 2007 entlang des Geländezaunes und in umliegenden Ortschaften (vgl. Abb. 7-11 und Abb. 7-12). Fehlende Messbalken zeigen an, dass am jeweiligen Standort das Dosimeter abhanden gekommen ist.

7.2.3.2 Radioaktivitätsmessungen

An den drei Messhütten werden Schwebstofffilter kontinuierlich bestaubt und wöchentlich gewechselt. Neben der Messung der langlebigen α - und β -Gesamtaktivität aller Einzelfilter erfolgen vierteljährlich γ -spektrometrische Untersuchungen und Plutoniumanalysen an Quartals-

mischproben der Filter. Im Jahr 2007 lagen alle durch γ -Spektrometrie bestimmten Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide unterhalb der Erkennungsgrenze. In diesem Fall werden entsprechend der Vorgabe der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung die erreichten Nachweisgrenzen mit vorangestelltem Kleinerzeichen (<) berichtet. Die Aktivitätskonzentration des natürlichen Radionuklids Be-7 schwankte zwischen 3,1 und 5,6 mBq/m³. Bei der Untersuchung der Plutonium-Aktivitätskonzentrationen lagen die Messergebnisse alle unterhalb der Erkennungsgrenze.

An insgesamt sieben Stellen auf dem Betriebsgelände des Forschungszentrums wird Niederschlag zur Überwachung auf Radioaktivität gesammelt (s. Abb. 7-12). Eine weitere Sammelstelle in Durlach dient als Referenzstelle. Im Jahr 2007 betrug die über alle sieben Sammelstellen gemittelte Jahresniederschlagsmenge rd. 660 mm. Im Niederschlag wurden bei der γ -spektrometrischen Analyse keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen. Die Nachweisgrenze für Cs-137 lag bei 0,015 Bq/L. Für die H-3-Aktivitätsdeposition wurden Werte zwischen 25 und 3700 Bq/m² im Sammelzeitraum von einem Monat gemessen. Der Maximalwert wurde im Monat November mit dem Niederschlagssammler der Messhütte Südwest bei einer Niederschlagshöhe von 49 mm ermittelt und ist mit Ableitungen der Verbrennungsanlage HDB 536 in diesem Zeitraum korreliert.

Tab. 7-16 enthält eine Übersicht über die Schwankungsbereiche der in den Jahren 2006 und 2007 gemessenen spezifischen Aktivitäten in Boden- und Sedimentproben. Aufgeführt sind außer dem natürlichen Radionuklid K-40 nur solche künstlichen Nuklide, für die in den Jahren 2006 und 2007 mindestens ein Messergebnis über der Erkennungsgrenze lag.

Gegenüber dem Vorjahr wurde eine etwas erhöhte Sr-90-Aktivität im Boden festgestellt. Die anderen spezifischen Aktivitäten sind vergleichbar mit den Werten des Vorjahres. Die gemessenen Cs-137-Aktivitäten beruhen zum größten Teil auf dem Fallout des Reaktorunfalls in Tschernobyl im Jahr 1986.

Zur Bestimmung der spezifischen Aktivität im Boden wurden in den Hauptausbreitungssektoren der WAK (braun umrandete Sektoren in Abb. 7-11) und an einer Referenzstelle Proben bis zu einer Tiefe von 5 cm entnommen und anschließend im Labor gemessen. In den beiden Hauptausbreitungssektoren bezüglich der Standorte der Abluftkamine im Forschungszentrum (grün umrandete Sektoren in Abb. 7-11) wurden von den Anbauflächen der überwachten Nahrungsmittel (siehe Tab. 7-17) Bodenproben bis zu einer Tiefe von 20 cm entnommen. Die gemessene spezifische Aktivität dieser Proben lag im Schwankungsbereich der Messwerte der übrigen Bodenproben (Tab. 7-16). Vergleichbare Ergebnisse lieferten Messungen der spezifischen Aktivität der Bodenoberfläche an vier Stellen durch *In-situ*-Gammaskpektrometrie.

Das Sediment aus dem Hirschkanal wird kontinuierlich in einem so genannten Sedimentsammelkasten aufgefangen, der monatlich geleert wird. Die im Jahr 2007 gemessenen spezifischen Cs-137-Aktivitäten zeigen keine Veränderung zu den Ergebnissen des Vorjahres.

Eine Übersicht über die Schwankungsbereiche der in den Jahren 2006 und 2007 gemessenen Radioaktivitätsgehalte in Nahrungsmitteln gibt Tab. 7-17. Aufgeführt wurden die Messergebnisse für die Nuklide K-40, Cs-137 und Sr-90. Die untersuchten landwirtschaftlichen Produkte wurden in den beiden Hauptausbreitungssektoren angebaut.

überwachtes Medium	Nuklid	spezifische Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		2007		2006	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Boden (0-5 cm)	K-40	430	530	450	540
	Cs-137	13	24	9,7	21
	Sr-90	0,22	4,0	0,16	0,87
	Pu-238	<0,016	0,096	<0,021	0,035
	Pu-239/240	0,039	0,46	0,046	0,19
Boden (0-20 cm)	K-40	500	530	530	580
	Cs-137	7,1	10	9,0	17
Boden (In-situ-Gamma-Spektrometrie*)	K-40	410	620	310	470
	Cs-137	8,2	11	6,1	16
Sediment (Hirschkanal)	K-40	490	630	460	490
	Cs-137	160	190	100	160
	Am-241	<10	12	< 11	18

*Umrechnungsfaktor Feuchtmasse/Trockenmasse 1,2

Tab. 7-16: Schwankungsbereiche der spezifischen Aktivität in Boden und Sediment

überwachtes Medium	Nuklid	spezifische Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		2007		2006	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Wurzelgemüse	K-40	63	160	53	140
	Cs-137	<0,026	0,046	<0,029	<0,095
	Sr-90	0,014	0,015	<0,046	<0,052
Getreide	K-40	140	180	150	180
	Cs-137	<0,084	<0,10	<0,083	<0,10
	Sr-90	0,16	0,17	0,17	0,22
Blattgemüse	K-40	64	130	81	240
	Cs-137	<0,036	0,031	<0,030	0,098
	Sr-90	0,034	0,043	0,11	0,14

Tab. 7-17: Schwankungsbereiche der spezifischen Aktivität in Nahrungsmitteln

Die Kühl- und Regenwässer des Forschungszentrums werden über die Sandfänge 1 bis 6 in den Hirschkanal abgeleitet. Das Oberflächenwasser des Hirschkanals wird unterhalb von Sandfang 6 im Teilstrom gesammelt (siehe Abb. 7-12) und wöchentlich ausgewertet. Die H-3-Aktivitätskonzentration schwankte zwischen Messwerten unterhalb der Erkennungsgrenze bis zu einem Maximalwert in der 44. Woche von 6,9 Bq/L.

Zur Überwachung des Grundwassers im Nahbereich der HDB werden im Rahmen des Umgebungsüberwachungsprogramms zahlreiche Beobachtungspegel beprobt. Diese Pegel befinden sich innerhalb und außerhalb des Betriebsgeländes in Grundwasserfließrichtung. Die H-3-Aktivitätskonzentrationen schwankten im Jahr 2007 zwischen Messergebnissen unterhalb der Erkennungsgrenze und einem Maximalwert von 11 Bq/L, der im zweiten Halbjahr am Beobachtungspegel H 0/1 innerhalb des Betriebsgeländes gemessen wurde. Insgesamt liegen die Werte im Bereich derer des Vorjahres.

Die H-3-Aktivitätskonzentrationen im Rohwasser der überwachten Wasserwerke „Süd“ des FZK und Linkenheim liegen unterhalb oder nur knapp oberhalb der Nachweisgrenze, vergleichbar mit den Werten des Wasserwerks Karlsruhe-Hardtwald, das als Referenz dient (siehe Abb. 7-15). Die H-3-Aktivitätskonzentration der Beobachtungsbrunnen zwischen dem Forschungszentrum und Linkenheim lag bei maximal 2,7 Bq/L.

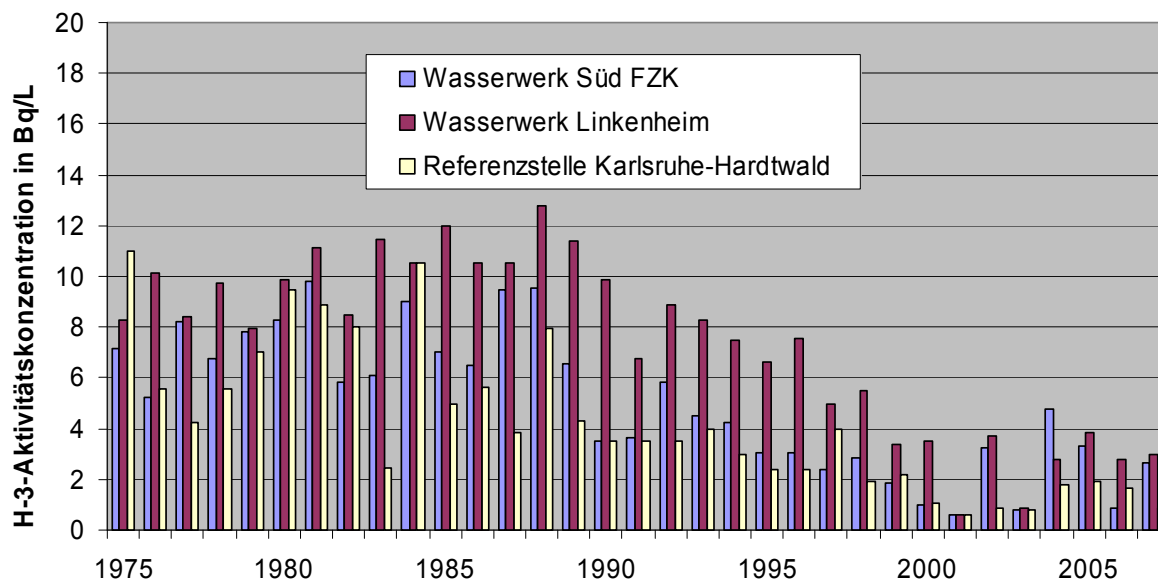
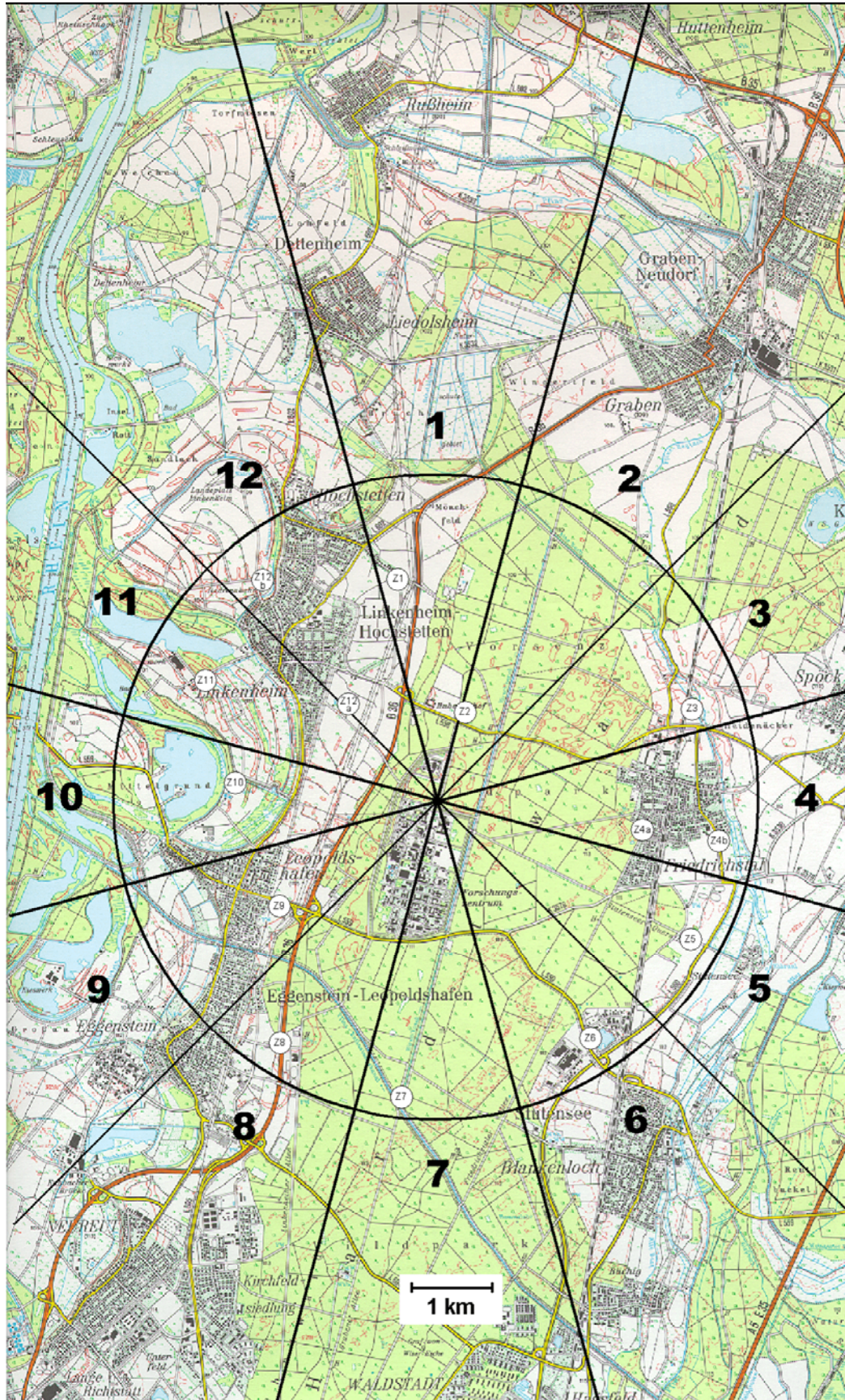


Abb. 7-15: Verlauf der H-3-Aktivitätskonzentration im Trinkwasser aus benachbarten Wasserwerken von 1975 bis 2007

7.2.3.3 Messfahrten im Rahmen des Störfalltrainingsprogramms

Im Rahmen des Störfalltrainingsprogramms werden monatliche Messfahrten zu wechselnden Mess- und Probenentnahmeorten durchgeführt. Die in der Zentralzone (Abb. 7-16) anzufahrenden Stellen wurden gemäß dem Katastropheneinsatzplan des Regierungspräsidiums Karlsruhe für die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe und das Institut für Transurane festgelegt. Ziel dieser Messfahrten ist das Training des Rufbereitschaftspersonals. Alle Messergebnisse entsprachen der Erwartung und zeigten keinerlei Auffälligkeiten.



Stand: Juli 1998

Abb. 7-16: Mess- und Probenentnahmeorte in den Sektoren der Zentralzone gemäß dem Katastropheneinsatzplan des Regierungspräsidiums Karlsruhe

7.2.3.4 Teilnahme an den internationalen *In-situ*-Vergleichsmessungen „ISIS 2007“

A. Wicke, S. Kaminski

Die Bezeichnung ISIS 2007 steht für die Messkampagne *In-Situ* Intercomparison Scenario, zu der die Internationale Atomenergie-Behörde (IAEA) vom 16. bis 20. April 2007 eingeladen hatte. Vorbereitung und Organisation erfolgten durch das Forschungszentrum Seibersdorf/ Österreich. Insgesamt nahmen neben 9 Beobachtern 56 Messteams mit 182 Teilnehmern aus 25 Ländern an der Veranstaltung auf einem militärischen Übungsgelände in der Nähe der Wiener Neustadt teil. Ziel der Übung war es, bei nuklearen Zwischenfällen mit Hilfe von Dosisleistungsmessungen und der Methode der *In-situ* Gammaskopimetrie rasch zu belastbaren Resultaten zu gelangen.

Die Übung war in verschiedene Aufgaben gegliedert und die Teams sollten rotierend diese Aufgaben innerhalb einer vorgegebenen Zeit von jeweils 1 h erledigen und Ergebnisse vorlegen. Zum Abschluss wurde von allen Teams gemeinsam Umgebungsmessungen auf einer Messwiese bei der „Hohen Wand“, einem nahegelegenen Gebirgszug durchgeführt.

Bei den Aufgaben auf dem Übungsgelände standen folgende Fragestellungen im Vordergrund:

- Auffinden von vergrabenen radioaktiven Quellen auf einem ca. 20.000 m² großen Terrain mittels Dosisleistungsmessungen,
- Lokalisation und Identifikation von radioaktiven Quellen in einem abgesperrten Gebiet durch Umfahrung,
- Ermittlung von Radionukliden und Aktivität in insgesamt zehn unbekanntem Fässern,
- Messungen von mit Punktquellen simulierten Kontaminationen,
- Ermittlung der Aktivität von vergrabenen Punktquellen und deren Tiefe

Das Team des Forschungszentrums Karlsruhe war wie folgt ausgerüstet:

- Mess- und Probenahmefahrzeug (VW-Bus) mit 12V= zu 230V~ -Wandler,
- zwei Reinstgermaniumdetektoren mit 21% und 22,8% relativer Ausbeute (Fa. Ortec) mit Vielkanalanalysator Inspector 2000 (Fa. Canberra) in Verbindung mit einem Notebook mit Genie-Software (Fa. Canberra) und *In-situ*-Auswerteprogramm Insikont (Fa. Insitec),
- Dosisleistungs-Messgerät (DL) Automess 6150 AD-6 mit Szintillationssonde 6150AD-b,
- Tragbares NaI(Tl)-Spektrometer Field-Spec der Fa. Target,
- GPS Garmin Etrix und Metermaß

Auffinden vergrabener Quellen:

Das Areal war für Fahrzeuge nicht zugänglich und musste daher zu Fuß begangen werden. Mit dem DL-Messgerät konnten das FZK-Team in der vorgegebenen Zeit alle fünf vergrabenen Quellen aufspüren und drei Quellen davon mittels Field-Spec als Co-60 und Cs-137 identifizieren. Lediglich die beiden Ir-192-Quellen konnten nicht mit dem Field-Spec erkannt werden. Die ermittelten GPS-Koordinaten waren korrekt.

Lokalisation und Identifikation von radioaktiven Quellen in einem abgesperrten Gebiet

Das gesperrte Areal konnte mit Fahrzeugen umfahren werden. Dabei wurden aus verschiedenen Positionen heraus Dosisleistungsmessungen und gammaskopimetrische Messungen durchgeführt. Da keine kollimierten Systeme verwendet werden durften, war eine nur grobe Lokalisation möglich. Die Entfernung der mit 610 MBq stärksten Co-60-Quelle konnte über DL-Messungen in zwei verschiedenen Abständen bestimmt und deren Aktivität mit Hilfe der Dosisleistungskonstanten auf 550 MBq recht genau abgeschätzt werden.

Die Cs-137-Quelle konnte nur grob lokalisiert werden; Eine Quantifizierung mittels DL-Messung oder Gammaskopimetrie war durch den störenden Einfluss des Fallout-Cäsiums nicht

möglich. Die dritte Quelle (Am-241) wurde vom FZK-Team nicht gefunden, da das eingesetzte Spektrometer unter den Gegebenheiten für Messungen im Niederenergiebereich unter 100 keV nicht optimiert ist.

Ermittlung von Radionukliden und Aktivität in Fässern

In insgesamt zehn Fässern sollten die radioaktiven Isotope identifiziert und quantifiziert werden. Vier davon enthielten eine Mischung mehrerer Radionuklide, vier weitere Fässer befanden sich in einem Abstand von ca. 10 m zueinander in den Ecken eines Feuerlöschteichs und konnten nur in ca. 3 m Abstand vermessen werden. Ein isoliertes Fass enthielt eine starke abgeschirmte Am-241-Quelle. Vom FZK-Team konnten bei insgesamt acht Fässern die Mehrzahl der Radionuklide identifiziert und im Rahmen der Messunsicherheit korrekt quantifiziert werden. Die Am-241-Quelle wurde nicht erkannt, da die Hauptlinie bei 59,6 keV durch die 3mm Cd-Abschirmung vollständig abgeschirmt wurde und für die höherenergetischen Gammalinien mit extrem geringen Emissionswahrscheinlichkeiten die erforderlichen Werte nicht in den Tabellen der Analysesoftware implementiert waren.

Messungen von Kontaminationen, die mit Punktquellen simuliert wurden

An drei verschiedenen Messorten wurde jeweils ein Messfeld unterschiedlicher Geometrie aus Punktquellen ausgemessen: Sr-85, Cs-137 und ein Mischfeld aus Am-241 und Cs-137. Dabei wurde den Teams ein bestimmter Punkt auf einem dieser Felder zugewiesen. Aus den Ergebnissen wurden Gruppenmittelwerte für jeden Messort gebildet. Die *In-situ*-Messungen erfolgten in der Standard-Geometrie in 1m Höhe über dem Erdboden. Das FZK-Team konnte alle Kontaminationen mit Messwerten innerhalb der Standardabweichung aller Messwerte der Gruppe korrekt ermitteln. Nur bei Am-241 war die Abweichung etwas größer (Tab. 7-18):

Messfeld - Position	Radionuklid	Gruppen-Mittelwert kBq/m ²	Eigene Messung kBq/m ²
Task 4 – Pos. 5	Sr-85	1,37 ± 0,63	1,46 ± 0,15
Task 7	Am-241	15,4 ± 10	9,7 ± 1,2
	Cs-137	14,0 ± 6,0	13,0 ± 1,3
Task 8 – Pos. 3	Cs-137	2,4 ± 1,1	2,8 ± 0,4

Tab. 7-18: Ergebnisse der „simulierten Kontamination“

Ermittlung der Aktivität von vergrabenen Punktquellen und deren Tiefe

Bei jeder *In-situ*-Vergleichmessung darf dieser Programmpunkt nicht fehlen. Der Veranstalter hatte an fünf Messpunkten jeweils eine I-131-Quelle mit 55 MBq in 48 cm Tiefe und eine Cs-137-Quelle mit 135 kBq in 8,5 cm Tiefe vergraben.

Die I-131-Quelle wurde vom FZK-Team in 40 cm Tiefe lokalisiert ($\pm 30\%$), allerdings wurde die Aktivität mit 15 MBq dadurch etwas unterschätzt. Von den übrigen Teilnehmern kamen nur von vier Teams korrekte Aktivitätswerte innerhalb einer Bandbreite von $\pm 25\%$.

Die Cs-137-Quelle wurde von uns zwar erkannt, Tiefe und Aktivität wurden wegen des störenden Einflusses des Tschernobyl-Fallouts nicht ermittelt und mitgeteilt. Hier lieferten die übrigen Teams wenig brauchbare Resultate.

Umgebungsmessungen auf einer Messwiese bei der „Hohen Wand“

Zur Ermittlung der Bodenaktivität begaben sich alle Messteams mit ihren Fahrzeugen auf eine Messwiese an der „Hohen Wand“, einem ca. 20 km von der Wiener Neustadt entfernten Ge-

birgszug. Dort wurden Messungen in der „klassischen In-situ-Geometrie“ mit einer Detektorposition 1 m über dem Erdboden durchgeführt – siehe Abb. 7-17!



Abb. 7-17: Mehrere Messteams auf der Messwiese an der „Hohen Wand“

Um einen repräsentativen Überblick zu erhalten, wurde vom Messteam des FZK an drei Orten im Untersuchungsgebiet jeweils 2 x 30 min und 1 x 60 min gemessen. Parallel wurde die Ortsdosisleistung ermittelt. Als Mittelwerte über alle drei Messpunkte ergeben sich:

Radionuklid	Spezifische Aktivität, Bq/kg (Cs-137: kBq/m ²)				Errechnete Ortsdosisleistung, nSv/h
	Position 1	Position 2	Position 3	Mittelwert	
U-238-Reihe	20,1	18,0	15,9	18,0	8,2
Th-232-Reihe	34,8	22,5	24,2	27,2	16,4
K-40	263	267	219	250	10,4
Cs-137*	2,1	2,0	1,9	2,0	5,4
Summe, rd.:					40

* Annahme einer Oberflächenkontamination mit einer Relaxationsmassenflächendichte von 0,0 g/cm², spezifische Aktivität in kBq/m²

Tab. 7-19: Ergebnisse der Messungen des FZK-Teams und errechnete Ortsdosisleistung auf der Messwiese bei der „Hohen Wand“

Unter Berücksichtigung eines Anteils kosmischer Strahlung von 40-44 nSv/h, mit dem in knapp 1000 m Seehöhe bei der „Hohen Wand“ zu rechnen ist, passt die errechnete Ortsdosisleistung von 80 – 84 nSv/h sehr gut zu der von uns tatsächlich gemessenen von 80 – 90 nSv/h.

Für die Ergebnisse aller Messteams sind beispielhaft diejenigen für U-238 in Abb. 7-18 wiedergegeben. Für das Messteam des FZK wurde nur das Ergebnis aus Position 1 dargestellt (Team No. 29).

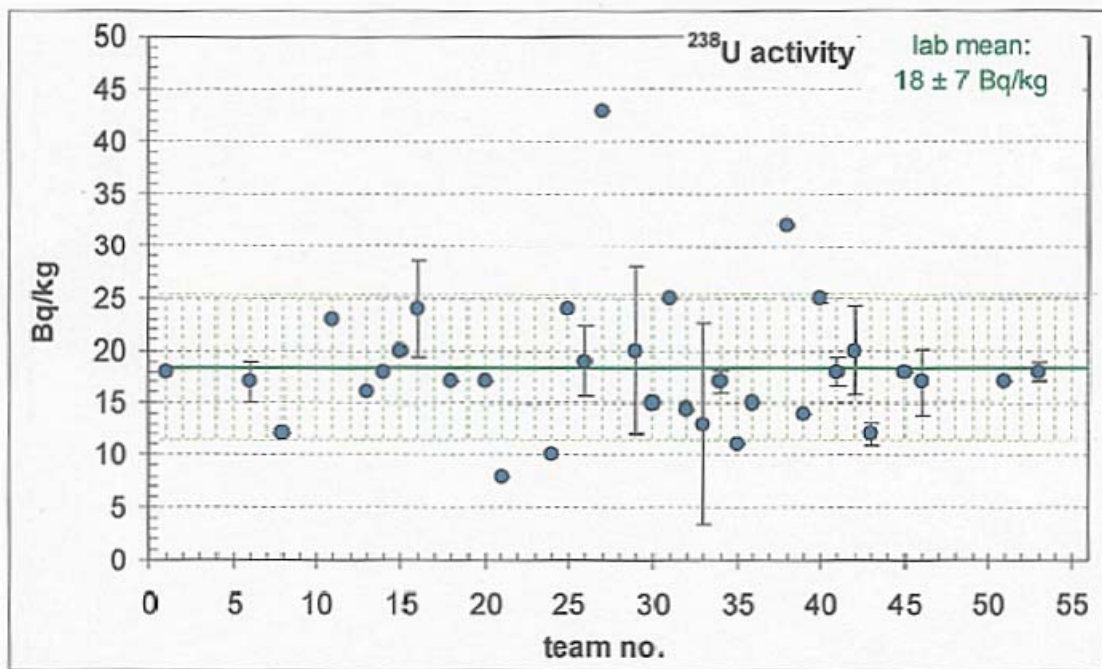


Abb. 7-18: Ergebnisse aller Messteams zur Ermittlung des U-238-Gehalts auf der Messwiese an der „Hohen Wand“

Fazit

Das FZK-Team ist mit den Ergebnissen durchaus zufrieden, auch wenn die Identifizierung und Quantifizierung von Radionukliden in Fässern nicht in allen Fällen gelungen ist. Insgesamt zeigen jedoch die Resultate, dass sowohl die fachliche Kompetenz als auch Kalibrierung der eingesetzten Messgeräte den internationalen Ansprüchen genügt. Andererseits ist es erstaunlich, dass von den 55 teilnehmenden Teams im Schnitt weniger als 60% überhaupt Ergebnisse abgeliefert haben.

Weitere Details zu Durchführung und Ergebnisse von ISIS 2007 finden sich im vollständigen Ergebnisbericht, der offiziell unter der Registriernummer ARC-G-006/2007 erschienen ist.

8 Werkschutz

R. von Holleuffer-Kypke

Der Werkschutz hatte im Jahr 2007 keine außergewöhnlichen Ereignisse zu verzeichnen.

In der Gruppe Werkschutzbereich mussten die durchzuführenden Werkschutzaktivitäten organisatorisch an die sich einstellenden personellen Gegebenheiten angepasst werden, nachdem die Betriebsvereinbarung zur Arbeitszeit und Reduzierung der Schichtstärke bei HS-WS zum 9. März 2007 in Kraft trat. Die anstehenden Personalreduzierungen können in der Gruppe Werkschutz durch altersbedingtes Ausscheiden erreicht werden.

In der Gruppe Werkfeuerwehr wurde ausgeschiedenes Personal umgehend ersetzt und eingehend auf die innerbetrieblichen Erfordernisse und spezifischen Randbedingungen ausgebildet.

8.1 Anmeldung und Zugang

B. Hehr

Im Jahr 2007 wurden 5 711 neue Betriebsausweise ausgestellt und 5 264 Betriebsausweise eingezogen. Zum Stichtag 31.12.2007 befanden sich 10 574 Betriebsausweise im Umlauf. Die Verteilung der Betriebsausweise nach den einzelnen Einrichtungen ist in Tab. 8-1 aufgelistet.

Einrichtung	Personenstatus	
	aktiv	Ruhestand
Forschungszentrum	3694	2419
FIZ	280	77
ITU	309	130
KBG	0	150
KHG	23	6
Universität	436	0
WAK	260	176
ZAG	25	0
Gäste	109	0
Fremdfirmen	2358	0
Fremdmietverträge	59	0

Tab. 8-1: Betriebsausweise

Da nur Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Forschungszentrums Karlsruhe GmbH und die ihnen gleichgestellten Personen anderer Einrichtungen auf dem Gelände rund um die Uhr Zutritt haben, wurden von den Organisationseinheiten 4 967 Anträge für Zutritt/Arbeiten außerhalb der Regelarbeitszeit für Fremdfirmenangehörige bearbeitet.

Im Berichtszeitraum erstellte das Personal der Anmeldung 49 507 Besucherausweise (2006: 42 956) und 444 Gruppenpassierscheine (2006: 375) für den Zutritt zum Gelände. Dazu kamen 131 Sonderzutritte (2006: 87) für Kinder unter 16 Jahren, die von den zuständigen Verantwortlichen der besuchten Organisationseinheit erteilt wurden. Für kurzfristig im Forschungszentrum eingesetzte Fremdfirmenangehörige wurden 2 505 befristete Ausweise (2006: 2 062) ausgestellt. Über Kurse im Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt kamen 2 342 Gäste (2006: 2 196) ins Gelände. Durch die Stabsabteilung Öffentlichkeitsarbeit und andere Organisationseinheiten

wurden 233 Besuchergruppen mit 6 176 Besuchern (2006: 186 Besuchergruppen mit 4 531 Besuchern) angemeldet und betreut. An der Lieferzufahrt wurden im Berichtszeitraum für Fremdfirmen und Anlieferer 18 569 Warendurchlasspassierscheine (2006: 16 519) ausgestellt sowie 444 Anlieferungen/Abholungen von radioaktiven Stoffen (2006: 443) bearbeitet. Die im Forschungszentrum tätigen Fremdfirmen hielten sich weitgehend an die Ordnungs- und Kontrollbestimmungen.

Gemäß atomrechtlicher Auflagen wurden Anträge für Zuverlässigkeitsüberprüfungen nach der Atomrechtlichen Zuverlässigkeitsüberprüfungs-Verordnung (AtZüV), bei der Aufsichtsbehörde eingereicht. Die zuständige Behörde hat bis auf wenige Einzelfälle den Zutrittsersuchen stattgegeben.

Bei der Anmeldung wurden im Berichtsjahr 86 Fundgegenstände abgegeben. Die nicht abgeholtten Fundsachen wurden der zuständigen Gemeindeverwaltung in Eggenstein-Leopoldshafen übergeben.

8.2 Werkschutzbereiche

B. Ritz

Zur Wahrung von Sicherheit und Ordnung für den Betrieb und die Belegschaft unterhält das Forschungszentrum Karlsruhe einen Werkschutz im Wechselschicht-Betrieb. Der Werkschutz kontrolliert den Zugang an den Toren, bestreift vorgegebene Gebäude und die nicht zu kerntechnischen Inseln gehörenden Lagerbereiche sowie das Freigelände.

Während der Streifenfälligkeit achtet der Werkschutz auf die Einhaltung der Bestimmungen des Arbeitsschutzes, des vorbeugenden Brandschutzes und des Umweltschutzes.

Im Berichtszeitraum wurden an den Toren des Forschungszentrums-Geländes stichprobenartig 2 933 Eigentumskontrollen, teilweise in Zusammenarbeit mit dem Strahlenschutz, durchgeführt.

In der Alarmzentrale sind im Berichtsjahr 1 082 Alarm- und Störmeldungen eingegangen und bearbeitet worden. Im Einzelnen waren es folgende Meldungen, getrennt nach Auslösungsursache:

Brandmeldungen	148	Technische Sicherheit	241
Objektalarne	53	Feststellungen	506
Alarmübungen	14	Sankra-Einsatz	96
Deko-Einsatz	24		

Alle in der Alarmzentrale eingesetzten Mitarbeiter wurden weiterhin praxisbezogen weitergebildet, so dass in diesem Bereich stets ein fachkundiger Umgang mit den hoch entwickelten technischen Systemen gewährleistet ist. Die in der Alarmzentrale installierten rechnergestützten Systeme wurden softwaremäßig der technischen Entwicklung angepasst, um die Einsatzfähigkeit und Kompatibilität mit Erweiterungen sicherzustellen (siehe Kap. 8.8). Um auch bei technischem Ausfall eine zügige und kompetente Abwicklung in Alarm- und Störfällen zu garantieren, wird als Redundanz zu den vorhandenen software-gestützten Informationen auch weiterhin eine Handdatei geführt.

8.3 Werkfeuerwehr

W. Lang

Zum vorbeugenden und abwehrenden Brandschutz sowie zur Behebung akuter Notsituationen unterhält die Forschungszentrum Karlsruhe GmbH eine Werkfeuerwehr, deren Stärke 28 Mitarbeiter beträgt. Die Werkfeuerwehr ist in einem Zwei-Schichten-Betrieb rund um die Uhr auf dem Gelände des Forschungszentrums anwesend. Während der Regelarbeitszeit ist der Leiter der

Werkfeuerwehr für den Dienstbetrieb verantwortlich; außerhalb der Regelarbeitszeit obliegt diese Aufgabe dem diensthabenden Schichtführer. Reicht die anwesende Mannschaftsstärke der Werkfeuerwehr zur Schadensabwehr nicht aus, wird die Rufbereitschaft der Werkfeuerwehr alarmiert oder Überlandhilfe angefordert.

Im Berichtszeitraum kam es zu 359 feuerwehrtechnischen Einsätzen. Im Einzelnen waren es folgende Einsätze:

Technische Hilfeleistung	157	Brandmeldealarme	109
Personenbefreiung aus Aufzügen	19	Einsätze zur Tierrettung	6
Brandeinsätze	13	Hilfeleistung bei Verkehrsunfällen	8
Überlandhilfe	5	Sonstige	42

Im Rahmen von wiederkehrenden Prüfungen und von regelmäßigen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten im baulich-technischen und vorbeugenden Brandschutzes wurden gewartet und geprüft:

Fahrbare Feuerlöscher	15	Löschdecken	34
Handfeuerlöscher	2197	Überflurhydranten	149
Wandhydranten nass/trocken	} 278	Personen- u. Lastenaufzüge	264
Sprühwasserlöschanlagen		Brandschutztore und Türen	458
Berieselungsanlagen		CO ₂ Löschanlagen	5

Im vorbeugenden Brandschutz wurden durch den Leiter der Werkfeuerwehr 178 Orts- und Brandschutzbegehungen durchgeführt. Dazu gehören die ebenfalls betreuten Einrichtungen Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK), Institut für Transurane (ITU), Kerntechnische Hilfsdienst GmbH (KHG) und Fachinformationszentrum Karlsruhe (FIZ). Dazu kamen noch Überwachungen und Kontrollen von 393 Erlaubnisscheinen für Schweiß-, Schneid-, Löt- und Auftauarbeiten in feuergefährdeten Bereichen.

In der Atemschutzzentrale der Werkfeuerwehr wurden die Atemschutzgeräte aus Instituten und Abteilungen des Forschungszentrums, dem ITU und aus den Stilllegungsprojekten Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage (KNK) und Mehrzweckforschungsreaktor (MZFR) gewartet und geprüft sowie desinfiziert. Im Einzelnen wurden folgende Stückzahlen erreicht:

Atemschutzmasken gereinigt, desinfiziert, gewartet und geprüft	16478
Pressluftatmer gewartet und geprüft	457
Lungenautomaten gewartet und geprüft	737
Druckluftflaschen (Volumen < 50 l) gefüllt	1896
Absturzsicherungen vom ganzen Forschungszentrum gewartet u. geprüft	406
Prüfungen der Chemikalien-Schutzanzüge (CSA)	49
Ortsfeste Leitern	2

Die Werkfeuerwehr ist auf dem Gebiet des Arbeitsschutzes für das Bestellen, Einlagern, Ausgeben und Verbuchen des notwendigen Materials zuständig. Es wurden 1 283 Wareneingänge und -ausgänge ausgeführt und 133 Beschaffungsaufträge und 257 Materialentnahmescheine bearbeitet.

Für Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten an über tausend Dienstfahrrädern des Forschungszentrums wurden von der Werkfeuerwehr 294 Stunden aufgebracht.

Die Ausbildung setzt sich zusammen aus der Weiterbildung der eigenen Mitarbeiter der Werkfeuerwehr und aus der Vermittlung von feuerwehrspezifischem Grundwissen im Rahmen der Brandschutzvorsorge an betriebseigenes und externes Personal. Hinzu kommt die feuerwehrspezifische Ausbildung in der forschungszentrumseigenen Atemschutzübungsanlage. Es wurden folgende Übungen und Kurse durchgeführt:

Alarmübungen	13
Ausbildung zur Brandverhütung und Brandbekämpfung mittels Handfeuerlöcher (mit insgesamt 300 Teilnehmern)	21
Atemschutzkurse (mit insgesamt 528 Teilnehmern)	71
Ausbildung in der Atemschutzübungsanlage insgesamt (mit 1 197 Teilnehmern)	103

Im Rahmen der Weiterbildung der Mitarbeiter der Werkfeuerwehr wurden Kurse zur Qualifizierung des Einsatzpersonals u. a. an der Landesfeuerwehrschule in Bruchsal besucht. Insgesamt konnten im Berichtszeitraum 250 weitere Qualifikationen in 25 verschiedenen Kursen erworben werden.

8.4 Einsatzleitung und Einsatzplanung

W. Lang

Die Funktion des Einsatzleiters wird vom Kommandanten der Werkfeuerwehr des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH bzw. dem ihn vertretenden Schichtführer wahrgenommen. Damit ist sichergestellt, dass er jederzeit erreicht werden kann. Er verfügt über entsprechende Fähigkeiten und ist für diese Aufgabe ausdrücklich bestellt. Der Einsatzleiter handelt für den Vorstand oder den Sicherheitsbeauftragten. Er übernimmt im Alarmfall die Einsatzleitung. Der Einsatzleiter ist verantwortlich für die Durchführung aller Maßnahmen, die bei drohender Gefahr, Personenschäden, Brandeinsätzen, Technischer Hilfeleistung, Strahlenunfällen oder sonstigen Schadensfällen zur Wiederherstellung der technischen Sicherheit ergriffen werden müssen. Er sorgt weiterhin für die Einhaltung der Meldeverpflichtungen des Forschungszentrums Karlsruhe, indem er über die Alarmzentrale des Forschungszentrums gemäß den Melderegungen die Meldungen absetzt. Für die Terminverfolgung von Folgemeldungen ist die Alarmzentrale zuständig.

8.4.1 Einsatzplanung

Zur Planung und Vorbereitung der Einsätze muss der Einsatzleiter über aktuelle Einsatzunterlagen verfügen. Dabei unterstützt ihn die Arbeitsgruppe „Einsatzplanung“ bei der Feuerwehr, die folgende Aufgabe hat:

- Umsetzen, Aktualisieren und Kontrollieren der einsatzspezifischen Unterlagen
- Aktualisieren der Einsatzpläne
- Aktualisieren und Kontrollieren der Brandbekämpfungspläne.

Damit der Einsatzleiter jederzeit auf gut geschultes Einsatzpersonal zurückgreifen kann, sorgt er zusammen mit der Feuerwehr auch für die Betreuung und Weiterbildung der Einsatztrupps des Forschungszentrums.

8.4.2 Statistik und Analyse der Einsatzleiter-Einsätze

Der Einsatzleiter wird üblicherweise über die Alarmzentrale des Forschungszentrums alarmiert. In allen Fällen konnten die Einsatzkräfte des Forschungszentrums durch rasches und zielgerichtetes Handeln die Auswirkungen der Störungen auf ein Minimum begrenzen.

Zum Einsatzschwerpunkt „Feueralarm“ zählen alle Einsätze, die im Zusammenhang mit der Alarmart „Feuer“ ein Tätigwerden des Einsatzleiters erforderlich gemacht haben, unabhängig davon ob es tatsächlich gebrannt oder nur ein Fehlalarm vorgelegen hat. Eine große Zahl der Fehlalarme ist darauf zurückzuführen, dass nahezu alle Gebäude und Anlagen auf dem Gelände des Forschungszentrums mit automatischen Brandmeldeanlagen ausgestattet sind, die bereits durch Schweiß-, Löt- oder Trennarbeiten im Rahmen von Umbaumaßnahmen oder durch Abgase von Verbrennungsmotoren der in Gebäude einfahrenden Transportfahrzeuge ansprechen können.

In den Einsatzschwerpunkt „Technische Hilfe und Sonstiges“ fallen alle Maßnahmen, die zur Wiederherstellung der technischen Sicherheit dienen. Hierzu gehören Hilfemaßnahmen bei der Behebung von Störungen an Lüftungs-, Klima-, Heizungs-, Kühl-, Abwasser-, Überwachungs-, Warn- und Medienversorgungsanlagen, Experimentiereinrichtungen, Freisetzung von Chemikalien, Sturm- und Wasserschäden, Verkehrs- und Arbeitsunfälle.

In den Einsatzschwerpunkt „Gerätestörungen“ werden Einsätze eingestuft, bei denen insbesondere bei Fort- und Raumluftüberwachungsanlagen sowie bei anderen diversen Messgeräten Störungen auftraten.

In den Einsatzschwerpunkt „Wasserstörung“ werden Einsätze eingestuft, bei denen es zum Auslaufen von Wasser kam. Bei mehr als der Hälfte der Einsätze waren die Ursachen Undichtigkeiten in Rohrleitungssystemen. Weiterhin führten nicht ordnungsgemäß befestigte Schläuche an Versuchständen zu Wasserstörungen.

Während der regulären Dienstzeit werden auftretende Störungen vom Betriebspersonal in der Regel schnell erkannt und mit Hilfe der Wartungsdienste rechtzeitig behoben und somit in ihren Auswirkungen begrenzt. Störungen außerhalb der normalen Arbeitszeit werden jedoch erst durch Ansprechen von sicherheitstechnischen Meldeeinrichtungen bzw. bei Kontrollgängen durch Mitarbeiter des Werkschutzes bekannt. Die technischen Einsatzdienste, Rufbereitschaften, Werkfeuerwehr und der Einsatzleiter garantieren eine qualifizierte Behebung der Störung.

8.4.3 Übungen der Einsatzdienste

Vom Forschungszentrum werden über 24 Stunden folgende Einsatzdienste vorgehalten:

- Einsatzleiter
- Werkfeuerwehr
- Werkschutz
- Med. Abteilung (Ambulanz)
- BTI (Bereich Technische Infrastruktur)
- Strahlenschutz

Aufgabe der Einsatzdienste ist es, die zur sofortigen Gefahrenabwehr notwendigen Maßnahmen durchzuführen, um Schaden für Mensch und Umwelt so gering wie möglich zu halten. Zu diesem Zweck unterhält das Forschungszentrum ständige Einsatzdienste, die im Bedarfsfall durch Einsatztrupps verstärkt werden können. Diese Einsatztrupps setzen sich aus Strahlenmesstrupp, Sanitätstrupp und Dekontaminationstrupp zusammen.

Im Jahr 2007 wurden 13 Alarmübungen durchgeführt. Übungszwecke waren Alarmierung, Kommunikation, Zusammenwirken der Einsatzkräfte, Menschenrettung unter schwierigen Bedingungen, Versorgung der Verletzten, Umgang mit Gefahrenstoffen, Strahlenschutz- und Messaufgaben. Neben den ständigen Sicherheitsdiensten wurden auch die Einsatztrupps und das Betriebspersonal der betroffenen Institute in die Übungen mit einbezogen.

8.5 Verkehrsdienst

E. Duran, R. Seitz

Im Berichtszeitraum mussten 45 (2006: 37) Absperrungen und Arbeitsstellensicherungen vorgenommen und überwacht werden.

Mit 43 Verkehrsunfällen verringerte sich die Zahl der aufgenommenen und bearbeiteten Verkehrsunfälle gegenüber dem Vorjahr um 3 Fälle (Tab. 8-2). Bei 18 Unfällen entstand ein Sachschaden unter 1000 €, während bei 25 Unfällen der geschätzte Gesamtschaden bei 80 970 € lag. Darüber hinaus waren 5 (2006: 7) Unfälle mit Personenschaden zu bearbeiten. Sechs (2006: 3) Verkehrsunfälle mit unerlaubtem Entfernen vom Unfallort waren zu verzeichnen. Bei den restlichen Geschädigten musste der Schaden in Höhe von ca. 5 760 € (2006: 630 €) selbst getragen werden.

Monat	Anzahl der Verkehrsunfälle			Sachschaden < 1000 €	Sachschaden > 1000 €	Personenschäden
	2005	2006	2007			
Januar	7	5	5	2	3	
Februar	2	5	4	3	1	
März	2	5	2	1	1	
April	1	2	1	0	1	
Mai	0	2	1	0	1	2
Juni	1	7	2	0	2	
Juli	2	0	1	0	1	
August	5	5	5	4	1	1
September	4	6	4	4	0	1
Oktober	5	5	3	1	2	1
November	3	2	7	5	2	
Dezember	5	2	8	3	5	
Gesamt	37	46	43	23	20	5

Tab. 8-2: Verkehrsunfälle 2006

8.6 Schadensaufnahme

E. Duran, R. Seitz

Die Zahl der gemeldeten Sachschäden liegt im Berichtszeitraum mit 26 Fällen (2006: 54) unter dem Niveau des Vorjahres (Tab. 8-3).

Im Berichtszeitraum wurden 11 Diebstähle (2006: 19) gemeldet, wobei sich der Verlust an Sachwerten auf ca. 106.204 € (2006: 8 060 €) beläuft. Es konnten 2 Delikte aufgeklärt werden.

Wobei durch das zeitnahe Melden des Diebstahls durch die betreffende OE und das agile Handeln der Schadenserfassungstruppe, ein Delikt im Wert von 100.000,00 € aufgeklärt und der Täter mit dem Diebesgut überführt werden konnte.

beschädigte Gegenstände	Jahr	bekannt gewordene Fälle	aufgeklärte Fälle	geschätzter Schaden in T€
Kabelschäden	2005	2	2	5,8
	2006	7	7	27,4
	2007	3	3	4,4
Lichtmasten	2005	5	5	7,5
	2006	1	1	1,3
	2007	0	0	0
Tore, Einzäunungen, Schranken	2005	9	9	7,4
	2006	6	5	4,4
	2007	12	12	12,0
Gebäude, Sachschäden	2005	29	29	56,9
	2006	28	27	76,9
	2007	58	54	58,8
Dienst-Kfz	2005	14	13	31,0
	2006	16	16	44,5
	2007	17	16	41,0
Verschiedenes (Fenster, Türen, Bedachungen, Transport- und Sturmschäden)	2005	7	7	32,2
	2006	2	2	1,0
	2007	2	2	5,0
Fahrbahnverunreinigung durch Öl- u. Kraftstoffspuren	2005	4	3	0,8
	2006	7	5	2,7
	2007	2	2	1,0
Summe	2005	70	68	141,6
	2006	67	63	158,2
	2007	94	89	122,2

Tab. 8-3: Sachschäden: Einsatz der Schadensaufnahme

8.7 Schlüsselverwaltung

E. Duran, R. Seitz

Die Schließebenen der Gebäude des Zentrums sind in General-, Haupt-, Obergruppen-, Gruppen- und Einzelschließungen unterteilt. Aus allen Schließsystemen ergibt sich ein Bestand von 30 515 (2006: 29 804) Schließzylindern und 109 636 (2006: 107 114) Einzel- u. Gruppenschlüsseln. Nach der Neukonzeption von Schließanlagen, die sich wegen der Errichtung von Neubauten oder durch Änderungen in Arbeitsabläufen ergaben, mussten 523 (2006: 80) Schließzylinder und entsprechende Schlüssel neu beschafft werden. Eine geringe Anzahl von Schließzylindern und Schlüsseln war defekt oder abgenutzt und musste erneuert oder ausgewechselt werden. Im Berichtszeitraum mussten 523 (2006: 327) Schlüsselbewegungen bearbeitet werden.

8.8 Technische Sicherungssysteme

R. Günther

Die Anpassung der Prüfanweisungen für wiederkehrende Prüfungen an technischen Objektsicherungseinrichtungen wurde fortgeführt und die überarbeiteten Unterlagen dem Gutachter im Auftrag der Genehmigungsbehörde eingereicht.

Im Jahre 2007 wurde ein neues Aufzug-Notrufsystem geplant und eingerichtet. Momentan sind 54 Aufzugsprechstellen in der Alarmzentrale aufgeschaltet. Bei Ausfall einer Aufzugsprechstelle durch technischen Defekt oder Blitzüberspannung waren für das über 15 Jahre alte System keine Ersatzteile mehr lieferbar. Auch für aktuelle Neubaumaßnahmen standen keine Geräte mehr zur Verfügung. Aufgrund dieser Situation wurde die Beschaffung eines neuen Aufzug-Notrufsystems notwendig, das zunächst parallel zum Bestehenden betrieben wird. Neubaumaßnahmen werden direkt und reparaturbedingte Umbaumaßnahmen werden sukzessiv mit dem neuen System verbunden. Mit der Neueinrichtung der zentralen Hard- und Software in der Alarmzentrale wurde die Grundlage geschaffen, um die zukünftigen neuen oder zu ersetzenden Aufzugsprechstellen mit geringem Aufwand anschließen zu können.

Eine technische Störung, die von einer Einrichtung auf dem Gelände des Forschungszentrum zur Alarmzentrale übertragen wird, führt dort zur Generierung eines rechnergestützten Aktionsplanes mit Handlungsanweisungen. Bedingt durch organisatorische Änderungen hinsichtlich der Zuständigkeit bei technischen Störungen, mussten ca. 1300 Aktionspläne in der elektronischen Datei überarbeitet und in Papierform – als Redundanz bei einem evtl. Ausfall der Elektronik - ausgedruckt werden.

9 Zentrale Aufgaben

A. Bickel, M. Gehle, S. Heise

Die „Stabsstelle Zentrale Aufgaben“ nimmt Querschnittsaufgaben der Hauptabteilung Sicherheit selbst wahr oder unterstützt abteilungsübergreifend oder zentrumsweit wirkende Prozesse koordinierend. Neben abteilungsübergreifenden kleineren Einzelprojekten waren die Arbeitsschwerpunkte im Berichtsjahr der Betrieb der HS-Datenverarbeitung im weitesten Sinn, sowie die Erweiterung des auf den neuen Ausweisen aufsetzenden Schlüsselersatzsystems. Darüber hinaus wurde im Berichtsjahr das Qualitäts-Management-System der Hauptabteilung Sicherheit weiter ausgebaut (siehe Kap. 10).

9.1 Datenverarbeitung der Hauptabteilung Sicherheit

D. Bosch, T. Dunker, M. Gehle, D. Meyer, H. Petermann, F. Stelzig, R. Wörl

Der Datenverarbeitung kommt durch ständig wachsenden Bedarf an Daten und deren Auswertung sowie durch die damit zu erledigenden, meist gesetzlich vorgeschriebenen Dokumentationspflichten eine stetig wachsende Bedeutung zu. Das drückt sich auch dadurch aus, dass im Netzwerk (LAN) der HS zur Zeit ca. 230 Benutzerkonten, ca. 250 PCs und diverse Serverdienste wie Datenbank-, Druck- und WWW-Server auf 17 Hardwareservern zu betreuen sind.

Die Hauptschwierigkeit bei Wartungsarbeiten und bei der Umsetzung der weiter unten genannten Tätigkeiten und Systemänderungen bestand und besteht darin, dass sie im laufenden operativen Betrieb mit möglichst kurzen Unterbrechungen durchzuführen sind. Inzwischen wird in der HS ein sehr hoher Standard der IT-Sicherheit und Verfügbarkeit erreicht.

9.1.1 IT-Infrastruktur

Die Hardware-Server der HS sind weitgehend in der Win2000 HS-Domain zusammengefasst. Eine ältere NT-Domäne ist für das von HS entwickelte Content Management System „Karlsruher Informations- System Sicherheit“ erforderlich, da es auf einer unter WinNT laufenden Lotus Notes Installation basiert, die vorerst nicht auf Win2000 umgestellt werden soll. Außerhalb der mit dem Zentrumsnetz verbundenen Domänen existiert weiterhin das geschlossene Netz für die Gefahrenmeldesysteme in der Alarmzentrale.

Die Endgeräte, meist PCs, sind inzwischen mit wenigen Ausnahmen auf das Betriebssystem WinXP umgestellt. Durch die in diesem Betriebssystem integrierten remote Funktionen ist eine sichere Fernwartung und Fernbenutzerhilfe durch Administratoren und Techniker möglich, ebenso wie die zentral gesteuerte Verteilung von Software, Updates, Sicherheitspatches, Virussignaturen, etc.

Im Berichtszeitraum mussten ca. 280 Computer mit Peripherie (Bildschirm, Drucker, Scanner, etc.) hardware- und softwaremäßig betreut und gewartet werden. Dazu gehörte z. B. die Anpassung von Office2003 für den jeweiligen Anwender nach Installation des Office-Paketes, die Prüfung der Rechner auf Virenbefall und deren Bereinigung. Aufgrund der Tatsache, dass viele PCs mit HS-spezifischer Sondersoftware ausgestattet sein müssen, ist hier ein hoher Aufwand an Betreuung erforderlich.

9.1.1.1 LAN

Die HS hat praktisch in allen Teilen des Zentrums Aufgaben zu erledigen für die HS-EDV Dienste erforderlich sind. Ca. 25 Gebäude bzw. Gebäudeteile sind derzeit mit HS direkt vernetzt, wobei die meisten Endgeräte in einem eigenen virtuellen LAN verbunden sind. Endgeräte, die in ca. 10 nicht zu HS gehörenden Netzsegmenten des Zentrums stehen, sind selbst hinter fremden Firewalls transparent mit dem HS-Netz verbunden.

Alle physischen HS-Teilnetze, die gemeinsam das virtuelle HS-LAN bilden, sind redundant an die ebenfalls redundanten zentralen Router des Zentrums-LAN bei IWR angebunden.

9.1.1.2 Hochverfügbare Server-Infrastruktur (Cluster)

Die Absicherung aller aktiven Netzkomponenten und aller produktiven Server durch unterbrechungsfreie Stromversorgungen und die Verwendung von Serverhardware, die in allen wesentlichen Komponenten redundant ausgelegt ist, bieten eine sehr hohe Sicherheit gegen den Ausfall dieser Hardwarekomponenten. Dagegen kann durch diese Maßnahmen bei Ausfall eines ganzen Standortes, z. B. durch Feuer, Löschwasser oder Störungen der LAN-Anbindung von Gebäuden (z.B. durch Kabelschaden), die Funktionalität der HS-EDV nicht sichergestellt werden. Davon betroffen wären u. a. die zentrumsweit verteilten Dosimetriesysteme mit den Zutrittsprüfungen für Strahlenschutz-Kontrollbereiche, Schlüsselersatzsysteme, Programme für Material- und Personenzugänge und nicht zuletzt die Arbeitsfähigkeit der HS-Mitarbeiter durch fehlenden Zugriff auf Programme und Daten.

Um solche Funktionsausfälle oder Beeinträchtigungen eines Standorts beherrschen zu können, werden zwei Server-Cluster betrieben, deren Komponenten auf mehrere Standorte verteilt sind. Die Lösung stellt bei einer Fehlfunktion durch Hardwareausfälle einzelner Komponenten oder Netzverbindungen sicher, dass alle Programme und Daten für die Benutzer ohne administrativen Eingriff nahezu unterbrechungsfrei zur Verfügung stehen. Außerdem erleichtert die Cluster-Funktionalität notwendige Wartungsarbeiten. Die Ressourcen eines Cluster-Knotens (File- bzw. Datenbank-Server) können in betriebsarmen Zeiten (nachts) auf den anderen Knoten verlagert werden. Auf dem freien Knoten können danach, ohne Beeinträchtigung des laufenden Betriebs, z. B. Sicherheitsupdates installiert werden.

Zur Spiegelung der Datenbestände wird eine Softwarelösung eingesetzt. Als Sicherheitsvorkehrung zur Vermeidung von Dateninkonsistenzen setzt diese Software ein Mehrheitsprinzip ein. Der Zugriff auf die Datenbestände ist nur dann möglich, wenn eine Mehrheit der existierenden Storage-Systeme verfügbar ist. Bei zwei vorhandenen Systemen und Ausfall eines Standorts, stellt das verbleibende System jedoch keine Mehrheit mehr dar. Damit die automatische Umschaltung im Fehlerfall funktioniert, wird an einem dritten Standort ein weiteres Storage-System betrieben, welches mit den beiden anderen Systemen per Glasfaser verbunden ist. Bei Ausfall genau eines Standorts bilden die beiden anderen Systeme dann weiterhin eine Mehrheit und die automatische Umschaltung funktioniert. In Tests wurde dies erfolgreich nachgewiesen. In Abb. 9-1 ist die Verteilung der Server und Storage-Systeme auf die drei Standorte und die Vernetzung dargestellt.

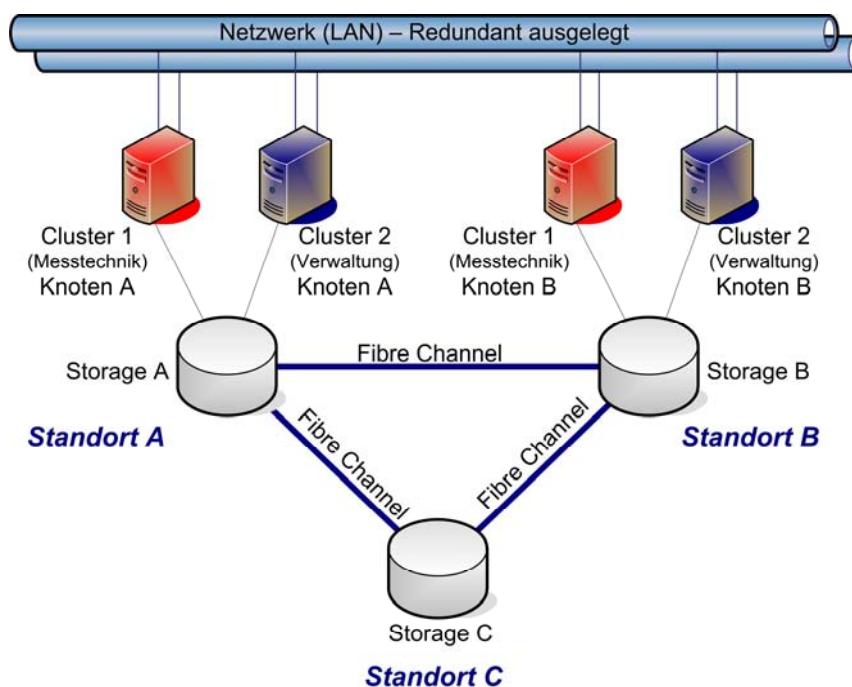


Abb. 9-1: Aufbau der hochverfügbaren HS-Server-Infrastruktur (Cluster)

Im Jahr 2007 wurden die Datenbanken für das QM-System, die Buchführungsprogramme (BURAST, BUGEN, BUFREIB) und für das Schlüsselersetzsystem (SES) in das MS SQL Server 2005-Cluster integriert. Das Schlüsselersetzsystem wurde vorher auf der Basis einer ISAM-Datenbank betrieben. Mit der Umstellung auf MS SQL Server wurden somit Verfügbarkeit, Performance und Wartbarkeit erhöht.

9.1.1.3 Serverkonsolidierung

Durch die fortschreitende Leistungsfähigkeit von Rechnersystemen und die Verfügbarkeit entsprechender Software können inzwischen komplette Server in sogenannten virtuellen Umgebungen betrieben werden – und somit physische Hardware eingespart werden. Für den Anwender ist kein Unterschied zwischen physischem und virtuellem Server erkennbar.

Im Berichtszeitraum wurden in der HS weitere Server mit veralteter Hardware virtualisiert. Derzeit werden 5 virtuelle Server gemeinsam, ohne nennenswerte Geschwindigkeitseinbußen, auf zwei leistungsfähigen Server-Systemen betrieben. Außerdem wurden noch einige Testumgebungen auf virtuellen Rechnern installiert.

9.1.2 Elektronische Dosimetrie

Alle Kontrollbereiche des Forschungszentrums sind inzwischen mit elektronischen Dosimetrie-Systemen ausgestattet. Die Dosimeter und die Software zum Auslesen und Steuern dieser Strahlendetektoren stammen von der Fa. RADOS. Die Betreuung bei Problemen mit der Hard- oder Software erfolgt für das gesamte Personen-Dosimetrienetz des Zentrums zentral durch HS-ZA.

9.1.3 Spezielle HS-Programme

Viele der bestehenden HS-eigenen Intranet-Applikationen wurden um weitere Funktionalitäten erweitert und aktualisiert.

Buchführungs- und Dokumentationsprogramm zu § 29 StrlSchV (BuFreiA):

Die Entwicklung der Webanwendung zur Freigabe nach § 29 wurde fortgeführt, und es wurden weitere Meilensteine fertig gestellt. Vorgänge können nun bis zum Punkt der Freimesung/Chargenanmeldung bearbeitet und angezeigt werden, und es gibt verschiedene Verwal-

tungs-Funktionalitäten. Die Schnittstellen von BuFreiB (Buchführungsprogramm für Freigabebescheide) und BuFreiA sind noch zu implementieren sowie einige Erweiterungen/Änderungen innerhalb BuFreiB.

Die Inbetriebnahme des Programms ist für 2008 geplant.

Besprechungsdokumentation:

Die im letzten Jahr erstellte und von HS-ZA-EDV verwendete Webanwendung für wiederkehrende „Gruppen“-Besprechungen (Dokumentation Besprechungs-Protokolle/-Agenden) wurde 2007 bei weiteren Bereichen von HS (PML, KES, L und WS) eingeführt und verwendet.

Buchführungsprogramme BURAST, BUGEN, BUFREIB und KMÜ:

Die bei HS-ZA entwickelten und von einer Fremdfirma programmierten Webanwendungen für

- die Buchführung mit Berichterstattung sonstiger radioaktiver Stoffe (BURAST),
- die Überwachung und Dokumentation von Wiederkehrenden Prüfungen an Strahlern (BURAST),
- die Dokumentation von atomrechtlichen Genehmigungen und Bescheiden (BUGEN),
- die Datenüberwachung der genehmigten und real vorhandenen Radioaktivitätsmengen (BURAST + BUGEN), sowie
- die Schnittstelle zur Entsorgung radioaktiver Stoffe (BURAST)
- die Dokumentation von Freigabebescheiden nach § 29 StrlSchV (BUFREIB)

wurden in den letzten Jahresberichten seit 2003 ausführlich vorgestellt. In diesem Arbeitsbereich wurden die Programme in Abstimmung mit Anwenderwünschen weiterentwickelt.

In BURAST wurden die Besonderheiten bei der Meldung und der Wiederkehrenden Prüfung von Hochradioaktiven Strahlenquellen (HRQ) und die neuen rechtlichen Grundlagen bei Wiederkehrenden Prüfungen integriert.

In BUGEN und BUFREIB können nun auch fertige Lesefassungen für Genehmigungsversionen, die beispielsweise von Genehmigungsbehörden erstellt wurden, hochgeladen werden. Die bisherige Möglichkeit, Lesefassungen mit einem Editor zu erzeugen, bleibt erhalten.

In BUFREIB können nun auch Messverfahren verwaltet werden. Außerdem wurden in BUFREIB für BUFREIA Schnittstellen definiert, die allerdings noch in BUFREIA integriert werden müssen. Des Weiteren ist für BUFREIB eine Programmerweiterung in Auftrag, um Verbleibe zu verwalten und diese einer Bescheidversion zuzuordnen.

Das von HS-ZA geschriebene Programm für die Überwachung des Kernmaterials (KMÜ) ist weiterhin in Betrieb und wurde in Abstimmung mit Anwenderwünschen weiterentwickelt. Es ist nun in KMÜ möglich, Kernmaterial nachzubuchen und erfüllt die Vorschriften der neuen EURATOM-Verordnung zu berücksichtigen. Zur Erstellung der Bestandsänderungs- und Materialbilanzberichte im XML-Format gibt es das, wie im Jahresbericht 2006 beschrieben, von EURATOM im Internet bereitgestellte Programm ENMAS-Light. Da es sich hierbei nicht um ein Buchführungsprogramm handelt, ersetzt es nicht das eigene Programm KMÜ, sondern ergänzt es.

9.2 Abteilungübergreifende Arbeiten

A. Bickel, M. Gehle

Die Koordination abteilungsübergreifender Arbeiten befasste sich im Berichtsjahr wieder mit der Neu- und Weiterentwicklung zentraler Datenverarbeitungsprogramme. Dabei war regelmäßiger

Abstimmungsbedarf mit den Beteiligten in den verschiedenen Abteilungen oder Arbeitsgruppen erforderlich.

Darüber hinaus ergaben sich Koordinationsaufgaben wieder bei der inhaltlichen Begleitung des Änderungsbedarfs am zentrumsinternen Strahlenschutzregelwerk, d. h. Regeländerungen wurden unter dem Aspekt der Konsistenz mit vorhandenen Workflows überprüft und abgeglichen.

Insbesondere das sich in der Entwicklung befindliche Buchführungs- und Dokumentationsprogramm zu § 29 StrlSchV, in dem auch ein Workflow integriert wird, verursachten einen hohen Koordinationsaufwand zwischen den verantwortlichen Strahlenschutzbeauftragten sowie Sachbearbeitern bei HS-TBG, HS-ÜM und den Entwicklern bei HS-ZA.

Ähnliches gilt auch für die Fortschreibung der Buchführungsprogramme für radioaktive Stoffe (BURAST), für die EURATOM Kernbrennstoffbuchführung (KMÜ) (siehe Kap.4.2.6.1 5.2.6.1) und für die Verwaltungsprogramme der atomrechtlichen Genehmigungen (BUGEN) und der Freigabebescheide nach § 29 StrlSchV (BUFREIB).

Zukünftig sollen die Abfallströme des Forschungszentrums Karlsruhe über SAP erfasst werden. Abfälle sollen, gegliedert nach festgelegten Abfallschlüsseln (ähnlich einem Wareneinkauf) von den OE bei BTI angemeldet werden („elektronischer Abgabeschein“). Um sicherzustellen, dass Abfälle, die aus Bereichen stammen, in denen mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, den Vorgaben des Strahlenschutzregelwerkes entsprechen, wurde in Zusammenarbeit mit OKD, BTI, HS-ÜM und HS-TBG ein entsprechender Workflow mit Berechtigungsstrukturen entwickelt, der im Jahr 2008 in Kraft gesetzt werden soll.

9.3 Erweiterung des Schlüsselersatzsystems

Das Schlüsselersatzsystem der Firma Interflex wurde im Jahresbericht 2006 ausführlich vorgestellt.

Zwei weitere Organisationseinheiten (MZFR und ITP) haben sich in diesem Jahr dem Schlüsselersatzsystem angeschlossen. Die erforderlichen Terminals wurden installiert und von den Hauptadministratoren in das System aufgenommen. Die Zugangsberechtigungen für das Personal wurden von den örtlich zuständigen Bereichsadministratoren vergeben.

Für ein weiteres Gebäude der Hauptabteilung Sicherheit ist das Schlüsselersatzsystem in Auftrag. Der Controller und das Haupt-Terminal sind bereits installiert, die Terminals für die Etagen werden nach Umbau der Türen bzw. Austausch der Türen installiert. Das Personal ist bereits in der Datenbank aufgenommen.

Die Datenbank für das Schlüsselersatzsystem, bisher eine ISAM-Datenbank, wurde in eine MS-SQL Datenbank überführt. Sie befindet sich nun auf dem Datenbankserver von HS.

9.4 Hausmeistertätigkeiten

H. Stengel, Chr. Krauß

In Zusammenarbeit mit den Vorgesetzten in Abteilungen und Arbeitsgruppen und mit den Betriebsbeauftragten der HS-Gebäude soll ein reibungsloser Betriebsablauf durch intakt gehaltene Infrastruktur und Basis-Services erreicht werden. Dabei sollen allerdings die Zuständigkeiten der jeweiligen Betriebsbeauftragten nicht verlagert werden.

Folgende Arbeiten werden zur Zeit regelmäßig erledigt:

- In allen HS-Gebäuden
 - Regelmäßige Überprüfung von Hausinstallationen und Sicherheitseinrichtungen
 - Instandhaltungs- oder Sanierungsarbeiten veranlassen
 - Kleinreparaturen oder Montagearbeiten durchführen

- Entsorgung von Sondermüll
- Entsorgung oder Abgabe von Altgeräten und Altmöbel im Gerätelager oder bei der Abfallentsorgung
- Transportfahrten, Personenfahrten und Servicefahrten
- Unterstützung bei Umzügen, inkl. kleinere Änderungen an Büroeinrichtungen
- Zusätzlich im Gebäude 123 (HS-KES und HS-ÜM)
 - Betreuung des Gaslagers, d. h. Stickstoffbündel nach Bestellung und Lieferung an- und abklemmen
 - An 5 – 10 Tagen im Monat Dosimeter Versandfahrten
 - Monatliche wiederkehrende Prüfung der Augenduschen
- Zusätzlich im Gebäude 436 (HS-TBG)
 - Dosimetertransport von und zu HS-TBG
 - Reststofflager in Ordnung halten
 - Servicefahrten zum Regierungspräsidium Karlsruhe
 - Botengänge im Forschungszentrum
- Zusätzlich im Hauptgebäude 439 (HS)
 - Gasversorgung von Argon/Methan für HS-ÜM, die rund um die Uhr benötigt wird, sicherstellen, dass immer ein Gasbündel in Betrieb ist und ein weiteres Bündel in Reserve steht, wobei beide Bündel über einen Ambimat verbunden sind
 - Manuelle Umschaltung der Methan- und Propangas-Versorgungsanlage
 - Tägliche Überprüfung der Gasanlagen auf ihren Zustand
 - Rechtzeitiges Bestellen sowie Austauschen der Gasflaschen
 - zweimal in der Woche müssen ca. 8 Kannen Flüssigstickstoff für HS-ÜM an der stationären Abfüllstation abgefüllt werden
 - Wiederkehrende Prüfungen an Gebäudetechnik
 - Lager- und Verbrauchsmaterial besorgen oder bestellen
 - Lieferungen entgegennehmen oder ausliefern
 - Arbeiten von Fremdfirmen überwachen
 - Dienstwäsche bereitstellen und reinigen lassen
 - Beschließen von Räumen berechtigter Mitarbeiter oder Wartungspersonal
 - Betreuung des Dienstfahrzeuges
 - Betreuung von Besprechungen
 - Monatliche wiederkehrende Prüfung der Körper- und Augenduschen

10 Management-Systeme in der Hauptabteilung Sicherheit

S. Heise, M. Fellhauer

Die Anforderung an das Qualitätsmanagementsystem der Hauptabteilung Sicherheit besteht darin, dass es flexibel angewandt werden kann, sowohl für die Akkreditierungen der einzelnen bei der Hauptabteilung Sicherheit angesiedelten Laboratorien gemäß DIN EN ISO/IEC 17025, als auch für die Zertifizierung nach DIN EN ISO 9001 für die anderen Bereiche der Hauptabteilung. Dazu nutzten wir aus, dass bei der Norm DIN EN ISO/IEC 17025 zur Akkreditierung zwei Teile zu berücksichtigen sind: a) ein allgemeiner Teil für das Managementsystem und b) spezielle Anforderungen für die Laboratorien gemäß Kapitel 5. Der allgemeine Teil der DIN EN ISO/IEC 17025 für das Managementsystem entspricht nahezu identisch den Vorgaben der DIN EN ISO 9001. Deshalb haben wir unser Qualitätsmanagementsystem so aufgebaut, dass die Forderungen nach der Zertifizierungsnorm für alle Bereiche, einschließlich der zu akkreditierenden Laboratorien, gelten und zusätzlich, für eben diese zu akkreditierenden Laboratorien die speziellen Forderungen nach Kapitel 5 der DIN EN ISO/IEC 17025 modular angesetzt werden können.

10.1 Zertifizierung der gesamten Hauptabteilung Sicherheit

Die Zertifizierung der Hauptabteilung Sicherheit nach DIN EN ISO 9001 war für den Herbst 2007 geplant. Um eine Vorstellung zu haben, ob eine Zertifizierung der Hauptabteilung Sicherheit überhaupt möglich ist, wurde Ende Mai ein Voraudit seitens des TÜV NORD CERT durchgeführt. Dieses Voraudit hatte zum Ergebnis, dass noch etliche Vorarbeiten zu leisten sind.

Nach Abarbeitung dieser Vorleistungen wurde der TÜV NORD CERT mit dem Zertifizierungsaudit beauftragt. Das Zertifizierungsaudit dauerte vom 22. bis 24.10.2007. Der Auditbericht enthielt zwei Abweichungen, sowie mehrere Empfehlungen. Die Abweichungen waren bis Weihnachten 2007 zu erledigen. Die zur Behebung der Abweichungen gewählten Korrekturmaßnahmen wurden vom Zertifizierer anerkannt.

Daraufhin bescheinigte der TÜV NORD CERT der Hauptabteilung Sicherheit das Führen eines Qualitätsmanagement-Systems nach DIN EN ISO 9001. Das Zertifikat für das Managementsystem nach DIN EN ISO 9001 der Hauptabteilung Sicherheit des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH mit dem Geltungsbereich „Wahrnehmung von Aufgaben zur Aufrechterhaltung der Sicherheit in den Bereichen Arbeitsschutz, Biologie, Strahlenschutz, Umweltschutz und Werkenschutz, sowie Kompetenzerhalt im Strahlenschutz durch Nachwuchsförderung“ ist gültig bis zum 06.01.2011.

10.2 Qualitätsmanagement Akkreditierungen

10.2.1 Akkreditierung des Physikalischen Messlabors

Das Physikalische Messlabor wurde im Herbst 2006 nach DIN EN ISO IEC 17025 akkreditiert. Nach 12 Monaten war die erste Überwachung der Akkreditierung erforderlich. Diese Überwachung wurde zeitgleich mit dem Zertifizierungsaudit der Hauptabteilung Sicherheit durchgeführt, da Herr Dr. Oberste-Lehn vom TÜV NORD CERT sowohl leitender Auditor bei der Zertifizierung, als auch leitender Begutachter bei der Akkreditierung des Physikalischen Messlabors war. Bei dieser Überwachung wurden zwei Abweichungen festgestellt, die bis Weihnachten 2007 zu bearbeiten waren. Nach Anerkennung der gewählten Korrekturmaßnahmen wurde die Akkreditierung für das Physikalische Messlabor ohne weitere Auflagen bestätigt.

10.2.2 Akkreditierung des In-vivo Messlabors

Parallel zur Zertifizierung der Hauptabteilung Sicherheit und zur Überwachung des Physikalischen Messlabors wurde die Akkreditierung des In-vivo Messlabors angestrebt. Formal ist die Akkreditierung des In-vivo Messlabors als Erweiterung der bestehenden Akkreditierung für das Physikalische Messlabor zu verstehen.

Als Fachbegutachter fungierte Herr Dr. Peter Hill vom Forschungszentrum Jülich. Die Begutachtung des In-vivo Messlabors ergab acht Abweichungen, die bis Weihnachten 2007 zu bearbeiten waren. Nach Rücksprache mit Herrn Dr. Hill wurden alle gewählten Korrekturmaßnahmen als wirksam und somit die Abweichungen als erledigt anerkannt.

Auf Grund dessen wurde das In-vivo Messlabor zur Akkreditierung bei dem zuständigen Sektor-Komitee des Deutschen Akkreditierungssystems Prüfwesen GmbH (DAP) vorgeschlagen. Eine endgültige Entscheidung steht derzeit noch aus. Sie ist im ersten Quartal 2008 zu erwarten.

10.3 Arbeitssicherheitsmanagementsystem

Der Arbeitsschutz erfährt derzeit in vielen Unternehmen eine Veränderung. Den Übergang vom nachsorgenden hin zum präventiven Arbeitsschutz unter Zuhilfenahme formalisierter und systematisierter Organisationsstrukturen, des so genannten Managementsystems, bewerten Experten als qualifizierten Quantensprung.

Das Forschungszentrum Karlsruhe ist eines der ersten Großforschungszentren in Deutschland, in dem ein Arbeitsschutzmanagementsystem zum Einsatz gekommen ist. In einem Pilotprojekt wurde im Dezember 2005 im Institut für technische Physik (ITP) am Forschungszentrum Karlsruhe ein Arbeitsschutzmanagementsystem auch im wissenschaftlichen Umfeld mit seinen speziellen Anforderungen etabliert. Wechselnde Forschungstätigkeiten und variierende Aufgabefelder stellten eine Randbedingung für ein Arbeitsschutzmanagement im wissenschaftlich-technischen Umfeld dar, ebenso der Einsatz neuer Technologien, für die Arbeitsschutzmaßnahmen zu erarbeiten waren, da nicht auf bewährte Regeln der Technik zurückgegriffen werden konnte. Ein Managementsystem für das ITP musste stark integrativ ausgerichtet sein, d. h. an vorhandene Führungs- und Organisationsstrukturen angepasst werden.

Das Pilotprojekt am ITP hat gezeigt, wie sich die spezifischen Sicherheitsbelange eines Forschungsbetriebes systematisieren lassen; zum Wohle der Beschäftigten und zum Vorteil des Unternehmens. Diese Erfahrungen wurden von der Hauptabteilung Sicherheit genutzt, um sich selbst einem Arbeitsschutzmanagement zu unterwerfen. In relativ kurzer Zeit wurden die entsprechenden Rahmenbedingungen geschaffen um sich im April 2007 von der Verwaltungsberufsgenossenschaft begutachten zu lassen.

Im Rahmen einer Feierstunde am 01.06.2007 konnte der Leiter der Hauptabteilung Sicherheit, Prof. Manfred Urban, aus den Händen eines Vertreters der Verwaltungsberufsgenossenschaft die Urkunde für den Aufbau eines „Vollständig integrierten Arbeitsschutzmanagementsystems“ in Empfang nehmen.

Mittelfristig soll das Arbeitsschutzmanagementsystem auf andere Organisationseinheiten des Forschungszentrums Karlsruhe in geeigneter Weise übertragen werden.

Mit der Einführung des Arbeitsschutzmanagementsystems wurden folgende Ziele verfolgt:

- kontinuierliche Verbesserung und Vervollständigung von Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten bei der Arbeit
- Erhöhen der Rechtssicherheit für das Unternehmen
- Verankerung des Arbeitsschutzgedankens als Führungsaufgabe auf allen Ebenen („Management first“).

Hieraus ergaben sich folgende Einzelziele:

- Integration von Arbeitsschutz in die Organisationsabläufe, so dass gleichzeitig ein Beitrag zu Wirtschaftlichkeit durch sichere Prozesse und störungsfreie Abläufe geleistet wird.

- Verbesserung von Transparenz und systematischem Ineinandergreifen von Arbeitsschutzorganisation und Abläufen, z.B. durch eindeutige Festlegung von Aufgaben, Zuständigkeiten und Verantwortung im Arbeitsschutz
- Abbau von Ausfallzeiten bzw. betrieblicher Gesundheitsstörung
- Integrationsmöglichkeit mit anderen Managementsystemen, z. B. für Umweltschutz oder Qualität
- Übertragbarkeit des Arbeitsschutzmanagementsystems auf das gesamte Forschungszentrum und auf andere Betriebsstätten der Helmholtzgemeinschaft.

10.4 Begutachtung des Radonlabors durch das BfS

Im Herbst 2006 wurde dem Radonlabor durch das BfS ein funktionierendes Qualitätsmanagementsystem bescheinigt. Diese Bescheinigung hat eine Gültigkeit von fünf Jahren. Während dieses Zeitraums sind keine Überwachungen vor Ort geplant.

10.5 Ausblick

Für das Jahr 2008 stehen folgende Aufgaben an:

1. Aufrechterhaltung der Akkreditierungen für das Physikalische Messlabor und das In-vivo Messlabor
2. Aufrechterhaltung der Zertifizierung der Hauptabteilung Sicherheit. Hier müssen insbesondere die im Auditbericht festgehaltenen Empfehlungen schnellstmöglich umgesetzt werden.
3. Vorbereitung der Kalibrieranlagen zur Akkreditierung als Kalibrierlaboratorium (Erweiterung der bestehenden Akkreditierung)
4. Durchführung von internen Audits zur kontinuierlichen Verbesserung unserer Prozesse

11 Veröffentlichungen

Breustedt, B.; Zugenmaier, K.; Polig, E.; List, V.; Urban, M. Entwicklung biokinetischer Modelle zur Beschreibung der Wirkung von DTPA in Hinblick auf die Diagnostik und Therapie bei Inkorporationen von Plutonium und anderen Transuranen. Jahrestagung Kerntechnik 2007, Karlsruhe, 22.-24.Mai 2007 Berlin : INFORUM GmbH, 2007 S.781-84 CD-ROM

Breustedt, B.; Zugenmaier, K.; Polig, E.; List, V.; Urban, M. Entwicklung biokinetischer Modelle zur Beschreibung der Wirkung von DTPA in Hinblick auf die Diagnostik und Therapie bei Inkorporation von Plutonium, und anderen Transuranen. Lübke, G. [Hrsg.] Zwischenbericht anlässlich des Statusseminars des BWPLUS am 07.und 08.März 2007 im Forschungszentrum Karlsruhe FZKA-BWPLUS 216 (Mai 2007)

Breustedt, B.; Doerfel, H. Individual monitoring in emergency situations. Treatment Initiatives after Radiological Accidents TIARA : Training Course, Fontenay-aux-Roses, F, February 5-6, 2007

Burgkhardt, B.; Becker, F.; Nagels, S.; Auerbach, H.; Wittemann, H. Ergebnisse der Feldkalibrierung von Albedodosimetern an Brennelement- Transportbehältern im KKP. Jahrestagung Kerntechnik 2007, Karlsruhe, 22.-24.Mai 2007 Berlin : INFORUM GmbH, 2007 S.793-96 CD-ROM

Doerfel, H. Anwendung von IDEA System bei der Bewertung von Messergebnissen. Gemeinsame Einführungsveranstaltung des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. und des VKTA zur Richtlinie für physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis Teil II: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition, Dresden, 18.-19.Juni 2007

Doerfel, H.; Heide, B. Calibration of a phoswich type partial body counter by Monte Carlo simulation of low-energy photon transport. Radiation Protection Dosimetry, 123(2007) S.464-72 DOI:10.1093/rpd/ncl503

Doerfel, H.; Andradi, A.; Bailey, M.; Blanchardon, E.; Cruz-Suarez, R.; Berkovski, V.; Castellani, C.M.; Hurtgen, C.; GeGuen, B.; Malatova, I.; Marsh, J.; Stather, J.; Zeger, J. General guidelines for the assessment of internal dose from monitoring data: progress of the ideas project. Radiation Protection Dosimetry, 125(2007) S. 19-22 DOI:doi10.1093/rpd/ncl132

Heathman, D.; Dettmer, K. Umsetzung der TRGS 440. Mehr Sicherheit am Arbeitsplatz durch ChemA. LABO - Magazin für Labortechnik und Life Sciences, 38(2007) Nr.11, S.20-23

Heide, B.; Hegenbart, L. Numerical calibration of a partial-body counter. Jahrestagung Kerntechnik 2007, Karlsruhe, 22.-24.Mai 2007 Berlin : INFORUM GmbH, 2007 S.789-92 CD-ROM

Hurtgen, C.; Andradi, A.; Bailey, M.R.; Birchall, A.; Blanchardon, E.; Berkovski, V.; Castellani, C.M.; Cruz-Suarez, R.; Davis, K.; Doerfel, H.; LeGuen, B.; Malatova, I.; Marsh, J.; Zeger, J. Application of ideas guidelines: the IDEAS/IAEA intercomparison exercise on internal dose assessment. Radiation Protection Dosimetry, 127(2007) S. 317-20 DOI: doi:10.1093/rpd/ncl283

Nagels, S. Berufliche und akademische Ausbildung im Strahlenschutz in Deutschland. Strahlenschutzpraxis, 13(2007) Nr.1, S.14-15

Reichert, A.; Dilger, H. Freigabe eines Nebengebäudes des Mehrzweckforschungsreaktors (MZFR) im Forschungszentrum Karlsruhe. Jahrestagung Kerntechnik 2007, Karlsruhe, 22.-24.Mai 2007 Berlin : INFORUM GmbH, 2007 S.652-57 CD-ROM

Reichert, A. Strahlenexposition bei Konditionierung radioaktiver Reststoffe. Wissenschaftliche Berichte, FZKA-7348 (November 2007)

Urban, M.; Bickel, A.; [Hrsg.] Jahresbericht 2006 der Hauptabteilung Sicherheit. Wissenschaftliche Berichte, FZKA-7330 (Mai 2007)

12 Literatur

- [Aka89] Akatov, Yu. A., Arkhangelsky, V. V., Kovalev, E. E., Spurny, F. und Votochkova, I. (1989) Absorbed dose measurements on external surfaces of KOSMOS satellites with glass thermoluminescent detectors. *Adv. Space Res.* 9(10): 237-241
- [And59] Anderegg G., Nägeli P., Müller F. und Schwarzenbach G. Komplexe XXX. Diathylentriamin-pentaessigsäure (DTPA). [*Helvetica Chimica Acta*](#) 42 (3), 827 – 836, 1959
- [Ans07] Ansoborlo E., Bion L., Doizi D., Moulin C., Lourenco V., Madic C., Cote G., Van der Lee J. and Moulin V.: Current and future radionuclide speciation studies in biological media, *Radiation Protection Dosimetry Advance Access published online on June 19, Radiation Protection Dosimetry*, doi:10.1093/rpd/ncm258,1-6, 2007
- [Bec08] Frank Becker et al., “Dosimetry in mixed gamma–neutron radiation fields and energy compensation filters for CaF₂:Tm TL detectors”, *Radiation Measurements space* 43 (2008) S. 921
- [Bec97] A. Beck, Langzeituntersuchung der Aluminiumbiokinetik mit Beschleuniger-Massenspektrometrie, Physik-Department, Technische Universität München, Mai 1997
- [Cat68] A. Catsch, Dekorporation radioaktiver und stabiler Metallionen. Verlag Karl Thiemig KG, München, 1968
- [Cro92] W. G. Cross, N. O. Freedman, and P. Y. Wong: Beta Ray Dose Distributions From Skin Contamination. *Radiat. Prot. Dosim.* 40 (3), 1992, p. 149
- [Feh07] G. Fehrenbacher, „Dosimeter zur Messung von Röntgen- und Gamma-Strahlung im Energiebereich von 10 keV bis 3 MeV“, Technischer Bericht der Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz der GSI, 2007
- [Feh07] G. Fehrenbacher *et al.*, *Rad. Prot. Dosim.* 126, 546-548 (2007)
- [Fos97] Foster W. M., Stetkiewicz P. T. and Freed A. N. Retention of soluble ^{99m}Tc-DTPA in the human lung: 24-h postdeposition. *J. Appl. Physiol.* 82(4): 1378-1382, 1997
- [Gok99] Goka, T., Matsumoto, H. und Takagi, S. (1999) Empirical model based on the measurements of the Japanese spacecrafts. *Radiat. Meas.* 30(5): 617-624
- [Gri78] Griffith, R.V., Anderson, A.L., Dean, P.N., Fisher, J.C.: Fabrication of a tissue-equivalent torso phantom for intercalibration of in-vivo transuranic-nuclide counting facilities, *Symposium on Advances in Radiation Protection Monitoring*, Stockholm, 1978
- [Gro07] Sebastian Grosam, „Messungen zur Beurteilung des Ansprechvermögens eines neuen H*(10) – Umgebungsäquivalentdosimeters“, Studienarbeit, Berufsakademie Karlsruhe, 2007
- [Guss98] Gussenhoven, M. S., Mullen E. G., Hardy, D. A., Madden, D., Holeman, E., Delorey, D. und Hanser F. (1995) Low Altitude edge of the inner radiation belt: Dose model from the APEX satellite. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 42: 2035 (cf. Mullen et al. 1998)
- [Guy06] Arthur Guyton, John Hall: *Textbook of Medical Physiology*, Eleventh Edition. S. 192. Saunders (W.B.) Co Ltd. [ISBN 0721602401](#), 2006

- [Hal78] Hall RM et al., A Mathematical Model for Estimation of Plutonium in the human Body from urine Data influenced by DTPA Therapy, *Health Physics*, **34**, 419-431, 1978
- [Hey01] Ditriventat-Heyl[®] (DTPA), Zink-Trinatrium-pentetat (Zn-DTPA), Literaturübersicht. 1. Auflage Februar 2001, Dr. Johann Ruprecht, Wissenschaftliche Abteilung, Chem.-pharm. Fabrik Heyl GmbH & Co. KG, Berlin
- [ICR75] ICRP Publication 23 : Reference Man : Anatomical, physiological and metabolic characteristics, 23, International Commission on Radiological Protection, Elsevier, 1975
- [ICR86] International Commission on Radiological Protection. The metabolism of plutonium and related elements. ICRP Publication 48. Pergamon Press, Oxford; Ann. ICRP 16(2/3), 1986
- [Jec72] Jech et al., Interpretation of human urinary excretion of plutonium for cases treated with *DTPA*, *Health Physics* **22**(6), 787-792, 1972
- [Kar77] Kurzes Lehrbuch der Biochemie, P. Karlson, Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1977
- [Kho03] V. F. Khokhryakov, A. P. Belyaev, T. I. Kudryavtseva, A. E. Schadilov, G. S. Moroz and V. A. Shalaginov. Successful DTPA therapy in the case of ²³⁹Pu penetration via injured skin exposed to nitric acid, *Radiation Protection Dosimetry* 105, No. 1-4, 499-502, 2003
- [Leg05] Leggett R.W., Eckerman K. F., Khokhryakov V. F., Suslova K. G., Krahenbuhl M. P. and Miller S. C. Mayak worker study: An improved biokinetic model for reconstructing doses from internally deposited plutonium. *Radiation Research* 164, 111-122, 2005
- [Mar86] R.B. Martin, The chemistry of aluminium as related to biology and medicine. *Clin. Chem.*, 32/10: 1797-1806, 1986
- [Mul98] Mullen, E. G., Gussenhoven, M. S., Bell, J. T., Madden, D., Holeman, E. und Delorey, D. (1998) Low altitude dose measurements from APEX, CRRES and DMSP. *Adv. Space Res.* 21(12): 1651-1660
- [Mut01] E. Mutschler, G. Geisslinger, H. K. Kroemer und M. Schäfer-Korting, *Mutschler Arzneimittelwirkungen*, 8.te Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, 2001
- [Pan96] Panasyuk, M. I., Mineev, Yu. V., Tolstaya, E. D., Pugacheva, G. I. (1996) Electron component of the trapped radiation environment at altitudes below 1000km, according to recent satellite data. *Radiat. Meas.* 26 (3): 359-361
- [Pop75] Popplewell D.S., Stradling G.N. and Ham G.J., The chemical form of plutonium in urine. *Radiation Research* 62, 513-519, 1975
- [Psc02] *Psyhyrembel – Klinisches Wörterbuch (Gamble)*, 259.te Auflage, de Gryter, Berlin, 2002
- [PTB03] Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Kalibrierschein, Kalibrierzeichen: PTB-6.31-SR-KB439-01.2003
- [Rei00] Reitz, G. (2000) Dosimetry Mapping on Biopan-3. Report to Biopan-3 Post-Flight-Meeting im ESTEC, Noordwijk, Jan. 19, 2000
- [Rei06] Reitz G. (2006) Past and future application of solid state detectors in manned spaceflight. *Radiat.Prot.Dosimetry*

- [Rei90] Reitz, G., Bücken, H., Facius, R., Schäfer, M. und Beaujean, R. (1990) Dosimetry results of COSMOS-1887. Nuclear Tracks and Radiation Measurements 17(2): 99-104
- [Rei92] Reitz G., Bücken H., Facius R., Schäfer M. und Beaujean R. (1992) Dosimetric results of COSMOS-2044. Nuclear Tracks and Radiation Measurements 20(1): 161-165
- [Rei98] Reitz, G. (1998) Dosimetric Mapping. Report to Biopan-2 Post-Flight-Meeting im ESTEC, Noordwijk, May, 13, 1998
- [Rey02] N. Reynaert, H. Palmans, H. Thierens, and R. Jeraj: Parameter Dependence of The MCNP Electron Transport in Determining Dose Distributions. Med. Phys. 29 (10), 2002, p. 2446
- [RiPhyKo] Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 2:
"Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (§§ 40, 41 und 42 StrlSchV)"
- [Rup01] Ruprecht J, Literaturzusammenfassung Ditriventat (DTPA), HEYL , 6-13. Berlin 2001
- [Sch02] D. R. Schaart, J. Th. M. Jansen, and P. F. A. de Leege: A Comparison of MCNP4C Electron Transport With ITS 3.0 And Experiment at Incident Energies Between 100 keV and 20 MeV: Influence of Voxel Size, Substeps, And Energy Indexing Algorithm. Phys. Med. Biol. 47, 2002, p. 1459
- [Sch02] D. R. Schaart, J. Th. M. Jansen, and P. F. A. de Leege: A Comparison of MCNP4C Electron Transport With ITS 3.0 And Experiment at
- [Sch07] M. Schädel, Eur. Phys. J. D 45 (2007)67
- [Sch75] C. A. Schlieper, Grundfragen der Ernährung, 3te Auflage, Verlag Handwerk und Technik GmbH, Hamburg, 1975
- [Sess07] Sessler, S.: Grundlegende Betrachtungen zur numerischen Simulation des Karlsruher Ganzkörperzählers, Studienarbeit 2, Berufsakademie / Forschungszentrum Karlsruhe, 2007
- [Sess07] Sessler, S.: Numerische Simulation von im Karlsruher Ganzkörperzähler gemessenen IGOR-Spektren, Diplomarbeit, Berufsakademie / Forschungszentrum Karlsruhe, 2007
- [Sta83] Stather J. W., Smith H., Bailey M. R., Birchall A., Bulman R. A. and Crawley F. E. H. The Retention of ¹⁴C-DTPA in human volunteers after inhalation or intravenous injection, Health Physics 44(1), 45-52, 1983
- [Sto59] Stover B. J., Atherton D. R. and Keller N.. Metabolism of Pu²³⁹ in adult beagle dogs. Radiation Research 10, 130-147 (1959)
- [Tay98] D. M. Taylor, The bioinorganic chemistry of actinides in blood. Journal of Alloys and Compounds 271-273, 6-10, 1998
- [Urb06] Urban, M et al., Jahresbericht 2006 der Hauptabteilung Sicherheit, FZKA Bericht 7330, Forschungszentrum Karlsruhe, Mai 2007
- [UST07] <http://www.ustur.wsu.edu/DeidentifiedData/Radiochemistry.html>, USTUR Case 0679 online

- [Vet91] Vette, J. I. (1991) The NASA/National Space Science Data Center trapped radiation environment model program (1964-1991). NSSDC 91-29, NASA GSFC, Greenbelt, MD
- [Vol78] Volf V; Treatment of incorporated transuranium elements; Technical Reports Series No. 184, International Atomic Energy Agency IAEA, Vienna 1978
- [Zak88] Zak O. and Aisen P., Spectroscopic and thermodynamic studies on the binding of gadolinium(III) to human serum transferrin. *Biochemistry* 27 (1988) 1075–1080