

Forschungszentrum Karlsruhe
Technik und Umwelt

Wissenschaftliche Berichte
FZKA 5930

**Jahresbericht 1996
der Hauptabteilung Sicherheit**

Redaktion: W. Koelzer
Hauptabteilung Sicherheit

Mai 1997

Forschungszentrum Karlsruhe
Technik und Umwelt
Wissenschaftliche Berichte
FZKA 5930

Jahresbericht 1996
der Hauptabteilung Sicherheit

Redaktion: W. Koelzer
Hauptabteilung Sicherheit

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

1997

**Als Manuskript gedruckt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor**

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe**

ISSN 0947-8620

Zusammenfassung

Die Aufgabenstellung der Hauptabteilung Sicherheit umfaßt die Kontrolle und teilweise auch die Durchführung von Strahlenschutz-, Arbeitssicherheits- sowie Werkschutz- und Sicherungsmaßnahmen in den und für die Institute und Abteilungen des Forschungszentrum Karlsruhe GmbH sowie die Abwasser- und Umgebungsüberwachung für alle Anlagen und kerntechnischen Einrichtungen auf dem Gesamtgelände des Forschungszentrums. Ergänzend werden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Rahmen der Arbeitsschwerpunkte des Zentrums und in extern geförderten Forschungsvorhaben durchgeführt.

Der vorliegende Bericht informiert über die einzelnen Aufgabengebiete der Hauptabteilung und berichtet über die im Jahr 1996 erarbeiteten Ergebnisse.

Central Safety Department, Annual Report 1996

Summary

The Central Safety Department is responsible for supervising, monitoring and, to some extent, also 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 Karlsruhe Research Center (Forschungszentrum Karlsruhe GmbH), and for monitoring liquid effluents and the environment of all facilities and nuclear installations on the premises of the Research Center. In addition, research and development work is carried out in different fields.

This report gives details of the different duties and reports the results of 1996 routine tasks, investigations and developments of the working groups of the Department.

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

Inhaltsverzeichnis

1	Hauptabteilung Sicherheit	1
1	Central Safety Department	6
2	Arbeitsschutz und Sicherheit	11
2.1	Strahlenschutz	12
2.1	Aufgaben der Gruppe „Strahlenschutz“	12
2.1.2	Betriebsüberwachung	13
2.1.3	Von HS-AS zentral erfaßte zu überwachende Personen nach Röntgen- und Strahlenschutzverordnung	13
2.1.4	Ergebnisse der Personendosisüberwachung	14
2.1.5	Personal in fremden Strahlenschutzbereichen	15
2.1.5.1	Fremdfirmen in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums	15
2.1.5.2	Mitarbeiter des Forschungszentrums Karlsruhe in Strahlenschutzbereichen fremder Anlagen	16
2.1.6	Regelmäßige Inkorporationsüberwachung im Forschungszentrum	16
2.1.6.1	Inkorporationsüberwachung des Eigenpersonals	17
2.1.6.2	Inkorporationsüberwachung des Fremdfirmenpersonals	17
2.2	Arbeitsschutz	18
2.2.1	Organisation und Aufgaben der Gruppe konventionelle Arbeitssicherheit	18
2.2.2	Unfallgeschehen	18
2.2.3	Arbeitsplatzüberwachungen	20
2.2.4	Aus- und Fortbildung	20
2.2.5	Arbeitsschutzausschuß	21
2.3	Bilanzierung radioaktiver Stoffe	21
2.3.1	Zentrale Buchhaltung zur Erfassung und Meldung von Kernmaterial	21
2.3.2	Aufsicht durch Euratom und IAEO	22
2.3.3	Zentrale Buchhaltung zur Erfassung und Meldung sonstiger radioaktiver Stoffe und Meldung von radioaktivem Abfall	23
2.3.4	Kontrolle der genehmigten Umgangsmengen radioaktiver Stoffe ..	23
2.3.5	Überwachung der Einhaltung von Grenzwerten für "gemessenen Abfall"	24
2.3.6	Erfassung von Kernmaterialtransporten und Hilfestellung bei Planung und Abwicklung	24
2.3.7	Tritiumbilanzierung für Fusionsanlagen	25
2.4	Einsatzleitung und Einsatzplanung	25
2.4.1	Aufgaben	26
2.4.2	Statistik und Analyse der EvD-Einsätze	26
2.4.3	Übungen der Einsatzdienste	27
2.4.4	Meldepflichtige Ereignisse nach Strahlenschutzverordnung	28
2.5	Betriebsbeauftragte im Umweltschutz	28
2.5.1	Wiederkehrende Prüfungen	28
2.5.2	Umsetzung der Gefahrstoffverordnung	30
2.5.3	Gefahrguttransporte und Gefahrgutumschlag	32
2.5.4	Abfallwirtschaft	33
2.5.5	Immissionsschutz	37
2.5.6	Gewässerschutz	38
2.6	Kontrollstelle WAK	40
2.6.1	Zielsetzung der Kontrollstelle	40
2.6.2	Aufgaben der Kontrollstelle	40
2.6.3	Planung, Vorbereitung und Durchführung der Kontrollen	40
2.6.4	Durchgeführte Kontrollen	41

3	Meßstelle	43
3.1	Amtliche Personendosimetrie	43
3.1.1	Photolumineszenzdosimetrie	44
3.1.2	Thermolumineszenzdosimetrie	45
3.1.3	Vergleichsbestrahlungen	45
3.2	Sonstige Personen- und Ortsdosimeter	46
3.2.1	Einsatz eines Makrofoldetektors in Überschall-Linienflugzeugen und in Hochenergieneutronenfeldern	47
3.2.2	Ergebnisse für zwei Beta-Fingerringdosimeter der Meßstelle beim Betadosimetervergleich der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt	48
3.2.3	Optimierungsversuche mit Radondetektorfolien	50
4	Strahlenschutz	53
4.1	Arbeitsplatzüberwachung	53
4.2	Ergebnisse der Arbeitsplatzüberwachung	55
4.2.1	Oberflächenkontaminationen	55
4.2.2	Raumluftaktivitäten	57
4.3	Interne Dosimetrie	58
4.3.1	Personenüberwachung	59
4.3.1.1	Routine- und Sondermessungen	59
4.3.1.2	Cs-137-Referenzmessungen	61
4.3.1.3	Strahlenpaßstelle	63
4.3.2	Betriebliche Überwachung	64
4.3.2.1	Filter- und Wischtestmessungen	64
4.3.2.2	Raumluftaktivitätsüberwachung	65
4.3.2.3	Dichtheitsprüfungen	66
4.3.2.4	Programmpflege und -neuentwicklung	67
4.3.3	Biokinetiche Untersuchungen	67
4.3.3.1	Ein empirisches Modell der Ausscheidungsintensivierung durch DTPA	67
4.3.3.2	Interne Dosimetrie mit dem Matrizenkalkül	74
4.3.3.2.1	Biokinetik der Radionuklid-Verteilung	74
4.3.3.2.2	Radionuklid mit Tochter	76
4.3.3.2.3	Dosimetrie	76
4.3.4	Sonstige Untersuchungen	79
4.3.4.1	Entwicklung einer kompakten Gamma-Kamera mit Bohrloch- Szintillationskristall und Pinhole-Kollimator	79
4.3.4.2	Aufbau und Test einer Elektronik für eine kompakte Gamma-Kamera mit Bohrloch-Szintillationskristall und Pinhole-Kollimator	81
4.3.4.3	Untersuchungsvorhaben "Verbesserung der Meßverfahren bei Ganz- und Teilkörperzählern"	82
4.3.4.4	Vorhaben zur Markteinführung und zur klinischen Erprobung des INDOS-Detektorsystems	83
4.4	Strahlenschutzmeßtechnik	83
4.4.1	Aufgaben	83
4.4.2	Meßtechnik nichtionisierender Strahlung	84
4.4.3	Wartung und Reparatur	84
4.4.4	Routinekalibrierung	85
4.4.5	Amtliche Eichabfertigungsstelle	85
4.5	Betriebsergebnisse aus dem Betrieb der Freimeßanlage	86

5	Umweltschutz	89
5.1	Fortluftüberwachung	90
5.1.1	Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft 1996	93
5.1.2	Ableitung nichtradioaktiver Stoffe mit der Fortluft 1996	100
5.1.2.1	Verbrennungsanlagen der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe	101
5.1.2.2	Versuchsanlage TAMARA	102
5.1.2.3	Fernheizwerk und Blockheizkraftwerk	103
5.1.3	Strahlenexposition in der Umgebung durch die mit der Fortluft abgeleiteten radioaktiven Stoffe 1996	103
5.1.3.1	Berechnungsgrundlagen	103
5.1.3.2	Meteorologische Daten	104
5.1.3.3	Ausbreitung und Ablagerung	104
5.1.3.4	Rechenprogramme	104
5.1.3.5	Einteilung der radioaktiven Emissionen in Nuklidgruppen und Einzelnuklide	105
5.1.3.6	Ergebnisse der Dosisberechnung	106
5.2	Abwasserüberwachung und Spektrometrie	111
5.2.1	Abwasserüberwachung	112
5.2.2	System zur zentralen Erfassung und Dokumentation der Meßdaten zur Abwasserüberwachung mit Ankopplung an das HDB-Datensystem	115
5.2.3	Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser 1996	116
5.2.4	Ableitung nichtradioaktiver Stoffe mit dem Abwasser 1996	118
5.2.5	Strahlenexposition in der Umgebung durch die mit dem Abwasser abgeleiteten radioaktiven Stoffe 1996	119
5.2.5.1	Berechnung der Strahlenexposition aus den bilanzierten Aktivitätsableitungen	119
5.2.5.2	Berechnung der Strahlenexposition aus den gemessenen Aktivitätsgehalten im Trinkwasser und in Lebensmitteln	120
5.2.6	Spektrometrische Messungen	121
5.2.7	Das Mehrplatz-Spektrometriesystem auf Genie-PC-Basis	122
5.2.8	Optimierung der Geometrie von Marinelli-Bechern hinsichtlich minimaler Erkennungsgrenzen bei der Analyse von niederenergetischer Gammastrahlung in Wasserproben	123
5.3	Umgebungsüberwachung	124
5.3.1	Ergebnisse der Routineüberwachung 1996	125
5.3.1.1	Direktmessung der Strahlung	125
5.3.1.2	Radioaktivitätsmessungen	126
5.3.1.3	Meßfahrten	131
5.3.1.4	Ergänzende Überwachungsmaßnahmen	131
5.3.2	Tritiumkonzentrationen in landwirtschaftlichen Produkten aus den Hauptausbreitungssektoren und aus dem Bereich des Vorfluters	131
5.4	Chemische Analytik	133
5.4.1	Radiochemische Arbeiten	134
5.4.2	Plutonium- und Strontiumableitungen mit dem Abwasser des Forschungszentrums Karlsruhe 1996	136
5.5	Das Freimeßlabor	138
5.5.1	Physikalische Direktmeßverfahren	138
5.5.2	Entwicklung von Korrekturverfahren für die Analyse von niederenergetischen Gammastrahlern in Bauschutt- und Metallproben	139
5.5.3	Chemische Arbeiten und Bestimmungen	140
5.5.4	Zur Bestimmung von Strontium und Yttrium mit Hilfe der Graphitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie	141
5.6	Verhalten von Tritium im System Luft-Pflanze-Boden	142
5.6.1	Modellentwicklung	142
5.6.2	Experimente	145

5.7	Radon-/Radonfolgeprodukt-Messungen in baden-württembergischen Wasserwerken	147
6	Werkschutz	151
6.1	Anmeldung und Zugang	151
6.1.1	Betriebsausweise	151
6.1.2	Besucher	152
6.1.3	Zentrale Güterkontrolle	152
6.1.4	Sicherheitsüberprüfungen	152
6.1.5	Fundsachen	152
6.2	Werkschutzbereiche	152
6.2.1	Werkschutzschichten	152
6.2.2	Alarmzentrale	153
6.2.3	Kerntechnische Objektsicherung	154
6.3	Werkfeuerwehr	154
6.3.1	Werkfeuerwehrsichten	154
6.3.2	Einsätze und dienstbegleitende Aufgaben	154
6.3.3	Ausbildung	155
6.4	Verkehrsdienst	156
6.4.1	Verkehrsunfälle	156
6.5	Schadensaufnahme	156
6.5.1	Arbeitsunfälle	156
6.5.2	Sachbeschädigungen	156
6.5.3	Diebstahlmeldungen	157
6.6	Schlüsselverwaltung	157
6.7	Technische Sicherungssysteme	158
7	Veröffentlichungen	159
7.1	Veröffentlichungen, die gedruckt vorliegen	159
7.2	Vorträge, die nicht in gedruckter Form vorliegen	161

Verzeichnis der Abkürzungen

AMAD	Activity Median Aerodynamic Diameter
AtG	Atomgesetz
BFE	Bundesforschungsanstalt für Ernährung
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BMBF	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BTI	Bereich Technische Infrastruktur
BTI-V	Bereich Technische Infrastruktur, Abteilung Ver- und Entsorgung
EKM	Hauptabteilung Einkauf und Materialwirtschaft
EvD	Einsatzleiter vom Dienst
FIZ	Fachinformationszentrum Karlsruhe
FR2	Forschungsreaktor 2
FTU	Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt
GGVE	Gefahrgutverordnung Eisenbahn
GGVS	Gefahrgutverordnung Straße
HDB	Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe
HDR	Heißdampfreaktor
HIT	Hauptabteilung Ingenieurtechnik
HS	Hauptabteilung Sicherheit
HS-AS	Hauptabteilung Sicherheit, Abteilung Arbeitsschutz und Sicherheit
HS-St	Hauptabteilung Sicherheit, Abteilung Strahlenschutzüberwachung
HS-US	Hauptabteilung Sicherheit, Abteilung Umweltschutz
HS-WS	Hauptabteilung Sicherheit, Abteilung Werkschutz
HVT	Hauptabteilung Versuchstechnik
HVT-HZ	Hauptabteilung Versuchstechnik/Heiße Zellen
HVT-TL	Hauptabteilung Versuchstechnik/Tritiumlabor
HZY	Hauptabteilung Zyklotron
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IFIA	Institut für Instrumentelle Analytik
IGEN	Institut für Genetik
IK	Institut für Kernphysik
IMF	Institut für Material- und Festkörperforschung
IMK	Institut für Meteorologie und Klimaforschung
INE	Institut für Nukleare Entsorgungstechnik
INFP	Institut für Nukleare Festkörperphysik

INR	Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
IRCh	Institut für Radiochemie
IRS	Institut für Reaktorsicherheit
ITC-CPV	Institut für Technische Chemie/Chemisch-Physikalische Verfahren
ITC-TAB	Institut für Technische Chemie/Thermische Abfallbehandlung
ITOX	Institut für Toxikologie
ITP	Institut für Technische Physik
ITU	Institut für Transurane
KAZ	Kompaktzyklotron
KBG	Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft mbH
KIZ	Karlsruher Isochronzyklotron
KNK	Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage
KTA	Kerntechnischer Ausschuß
LAW	Low Active Waste
MAW	Medium Active Waste
MED	Medizinische Abteilung
MZFR	Mehrzweckforschungsreaktor
ÖA	Stabsabteilung Öffentlichkeitsarbeit
PBS	Projektbereich Stilllegung
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
PUTE	Plutoniumteststand
RöV	Röntgenverordnung
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
SUR	Siemens Unterrichtsreaktor
UVM	Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe

1 Hauptabteilung Sicherheit

Aufgaben und Organisation

Die Aufgabenstellung der Hauptabteilung Sicherheit umfaßt die Kontrolle und teilweise auch die Durchführung von Arbeitssicherheits-, Strahlenschutz- sowie Werkschutz- und Sicherungsmaßnahmen in den und für die Institute und Abteilungen des Forschungszentrum Karlsruhe GmbH sowie die Abwasser- und Umgebungsüberwachung für alle Anlagen und kerntechnischen Einrichtungen auf dem Gesamtgelände des Forschungszentrums. Ergänzend werden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Rahmen der Arbeitsschwerpunkte des Zentrums und in extern geförderten Forschungsvorhaben durchgeführt. Schwerpunkte dieser Arbeiten sind Untersuchungen zum Verhalten von Tritium im System Luft/Boden-Pflanze, Tritiumbilanzierung für Fusionsbrennstoffkreisläufe sowie Untersuchung und Bewertung von radonexponierten Arbeitsplätzen.

Am 31. Dezember 1996 waren in der Hauptabteilung Sicherheit 260 wissenschaftliche, technische und administrative Mitarbeiter, ein Doktorand und fünf Studierende zur Ausbildung als Strahlenschutzingenieur beschäftigt. Der Organisationsplan der Hauptabteilung ist auf der Seite 5 wiedergegeben.

Abteilung Arbeitsschutz und Sicherheit

Die Abteilung Arbeitsschutz und Sicherheit hat beratende, kontrollierende und administrativ steuernde Funktionen auf den Gebieten des Strahlenschutzes, der Überwachung und Buchführung radioaktiver Stoffe, der Arbeitssicherheit, 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.

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. Es werden die Einhaltung der Vorschriften der Strahlenschutz- und der Röntgenverordnung sowie behördlicher Auflagen durch die Strahlenschutzbeauftragten überprüft. Weitere Aufgaben sind die Pflege der Datenbanken mit den persönlichen Meßdaten der beruflich strahlenexponierten Personen und die Terminverfolgung für Strahlenschutzbelehrungen und arbeitsmedizinische Untersuchungen. Er schafft die Voraussetzungen für den Einsatz von Fremdfirmenpersonal in Kontrollbereichen des Forschungszentrums und stellt die Strahlenpässe für die Mitarbeiter des Forschungszentrums aus, die in fremden Anlagen tätig werden.

Die Arbeitsgruppe "Konventionelle Sicherheit" dient als Kontaktstelle zu den Behörden in Fragen der konventionellen Arbeitssicherheit. Sie wertet deren Auflagen aus und überwacht die innerbetriebliche Umsetzung. Sie führt die Bestellung der nach den Unfallverhütungsvorschriften geforderten Beauftragten durch und sorgt für deren Aus- und Weiterbildung. Zur Information der Mitarbeiter werden von der Arbeitsgruppe diverse Informationsmedien zur Verfügung gestellt. Zur Beurteilung des Unfallgeschehens im Forschungszentrum werden die Unfälle analysiert und mit einem Unfallbearbeitungsprogramm ausgewertet. Meldepflichtige Unfälle werden, nach Kenntnisnahme des Betriebsrates, an den Unfallversicherungsträger und das Gewerbeaufsichtsamt weitergeleitet.

Im Arbeitsschwerpunkt "Überwachung radioaktiver Stoffe" werden die zentrale Buchhaltung zur Überwachung von Kernmaterial und sonstigen radioaktiven Stoffen im Forschungszentrum durchgeführt, Materialbilanzberichte erarbeitet und an die zuständigen Behörden weitergeleitet und Inspektionen und Inventuren durch Euratom vorbereitet und begleitet.

Im Arbeitsschwerpunkt "Beauftragte im Umweltschutz" sind die Abfall-, Gefahrgut-, Immissionsschutz- und Gewässerschutzbeauftragten zusammengefaßt, denen die Aufgaben entsprechend den gesetzlichen Regelungen übertragen sind. Es sind dies insbesondere Beratungs-, Informations- und Überwachungsaufgaben in den einzelnen für die Umwelt relevanten Bereichen.

Im Arbeitsschwerpunkt "Stoffströme, wiederkehrende Prüfungen" werden wichtige umwelt- und sicherheitsrelevante Informationen für die Verantwortlichen in Form von Datenbanken zentrumsweit zur Verfügung gestellt. Hierzu gehören u. a. Sicherheitsdatenblätter und Gefahrstoffinformationen.

Im Arbeitsschwerpunkt "Einsatzdienste" sind die rund um die Uhr tätigen zur Sicherheitsorganisation des Forschungszentrums gehörenden Einsatzleiter vom Dienst zusammengefaßt. Es werden Einsatzunterlagen erarbeitet, aktualisiert und Alarmübungen der Sicherheitsdienste organisiert

Im Arbeitsschwerpunkt "Zentrale sicherheitsrelevante Datenbanken" wird die technische Infrastruktur für die elektronische Dokumentation von sicherheitsrelevanten Daten zur Verfügung gestellt, die Hard- und Software gewartet und deren Nutzer geschult und beraten. Dazu wird ein Inhouse-Netzwerk mit mehreren Servern, auf denen die zentralen Datenbanken installiert sind, betrieben. Die Bereitstellung umfangreicher On-Line-Dokumentationen von Gesetzen, Verordnungen und anderen internen und externen Regelwerken gehört ebenfalls zum Aufgabenspektrum dieses Arbeitsschwerpunktes.

Zur Wahrnehmung der Aufsichtspflichten des Strahlenschutzverantwortlichen des Forschungszentrums Karlsruhe bei den Stilllegungsarbeiten der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) besteht eine „Kontrollstelle WAK“. Sie hat kontrollierende Funktion auf den Gebieten Anlagensicherheit, Strahlenschutz und Entsorgung radioaktiver Abfälle.

Amtliche Meßstelle für Festkörperdosimeter

Für die Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen in Baden-Württemberg wird im Auftrag des Landes die amtliche Meßstelle für Festkörperdosimeter betrieben, die auf Anforderung auch Auswertungen für andere Bundesländer und Aufgaben im Bereich der nichtamtlichen Dosimetrie durchführt.

Abteilung Strahlenschutz

Die Abteilung Strahlenschutz ist überwiegend im Auftrag der Strahlenschutzbeauftragten, die für den Schutz der mit radioaktiven Stoffen umgehenden oder ionisierender Strahlung ausgesetzten Personen des Forschungszentrum verantwortlich sind, tätig. Aus dieser Aufgabenstellung heraus sind viele Mitarbeiter dezentral in den Organisationseinheiten des Forschungszentrums tätig. Sie sind Ansprechpartner in Fragen des arbeitsplatzbezogenen Strahlenschutzes, sie geben Hinweise und Empfehlungen und achten auf strahlenschutzgerechtes Verhalten.

Von den Bereichen „Arbeitsplatzüberwachung“ werden die Auswertung der Stabdosimeter vorgenommen, monatlich die amtlichen Dosimeter sowie nach Bedarf Teilkörper- oder Neutronendosimeter ausgegeben, nach Plan Kontaminations- und Dosisleistungsmessungen durchgeführt und die Aktivitätskonzentration in der Raumluft überwacht. Die Strahlenschutzmitarbeiter veranlassen bei Personenkontaminationen die Durchführung der Dekontamination. Zur Aufgabe der Mitarbeiter dieser Bereiche gehört auch die Überwachung der Materialtransporte aus den Kontrollbereichen in den betrieblichen Überwachungsbereich des Forschungszentrums und aus dem Zentrumsgelände nach außen.

Durch Umstrukturierungen innerhalb der Hauptabteilung Sicherheit wurde das Arbeitsfeld der Strahlenschutzmitarbeiter erweitert. Neben den strahlenschutzrelevanten Messungen vor Ort werden auch Meßaufgaben aus dem Bereich des konventionellen Arbeitsschutzes durchgeführt.

Im Bereich „Interne Dosimetrie“ werden mittels Ganz- und Teilkörperzählern Nukliddepositionen im Körper ermittelt und Verfahren zur Bestimmung der Äquivalentdosis bei innerer Strahlenexposition weiterentwickelt. Im Vordergrund steht die Verbesserung des Nachweises von Thorium, Uran, Plutonium und Americium in Lunge, Leber und im Skelett sowie die Bereitstellung von Stoffwechselmodellen zur Interpretation der Meßergebnisse.

Der Bereich „Strahlenschutzmeßgeräte“ führt Reparaturen und Kalibrierungen an Anlagen zur Raum- und Abluftüberwachung und an den Gammapegel-Meßstellen durch. Weitere Aufgaben sind die Eingangskontrolle neuer Geräte, der Test von neu auf dem Markt angebotenen Meßgeräten sowie der Betrieb von Bestrahlungsanlagen zur Kalibrierung von Dosis- und Dosisleistungsmeßgeräten.

Abteilung Umweltschutz

Aufgaben der Abteilung Umweltschutz sind die Überwachung der Emissionen radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus den kerntechnischen Einrichtungen und Instituten des Forschungszentrums Karlsruhe und die Überwachung der Immissionen in seiner Umgebung. Überwachungsziel ist die möglichst lückenlose Erfassung aller Emissionen und Immissionen und der auf Messungen und begleitende Berechnungen gestützte Nachweis der Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte.

Die Gruppe „Abluft- und Umgebungsüberwachung“ kontrolliert, koordiniert und bilanziert die Aktivitätsableitungen der Anlagen auf dem Gelände des Forschungszentrums in die Atmosphäre. Sie ermittelt die Strahlenexposition der Umgebung. 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.

Die Gruppe „Abwasserüberwachung und Spektrometrie“ ermittelt die Aktivitätskonzentrationen der Abwässer der einzelnen 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 auch die Durchführung aller spektrometrischen Nuklidbestimmungen.

In der Gruppe „Chemische Analytik“ werden die radiochemischen Untersuchungen von Umweltproben und von Proben im Rahmen der Emissionsüberwachung durchgeführt. Seit 1995 wird in Kooperation mit der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe ein Freimeßlabor betrieben, in dem die nuklidspezifischen Analysen durchgeführt werden, die erforderlich sind, um die beim Rückbau und Abriß kerntechnischer Anlagen anfallenden radioaktiven Reststoffe uneingeschränkt verwerten oder wie gewöhnlichen Abfall beseitigen zu können.

Für das Projekt Kernfusion werden Untersuchungen zur Aufnahme von Tritium in ernährungsrelevante Pflanzen durchgeführt. Um die Ingestionsdosis nach einer Freisetzung von Tritium in die Atmosphäre abschätzen zu können, wurde ein Modell für die Berechnung des Einbaus von Tritium in Weizenpflanzen entwickelt und das Modell anhand der Ergebnisse von Expositionsexperimenten im Freiland getestet. Daraus resultierten Verbesserungen in der Vorhersage der Aufnahme von HTO in das Gewebewasser und des Tritiumeinbaus in die organische Substanz.

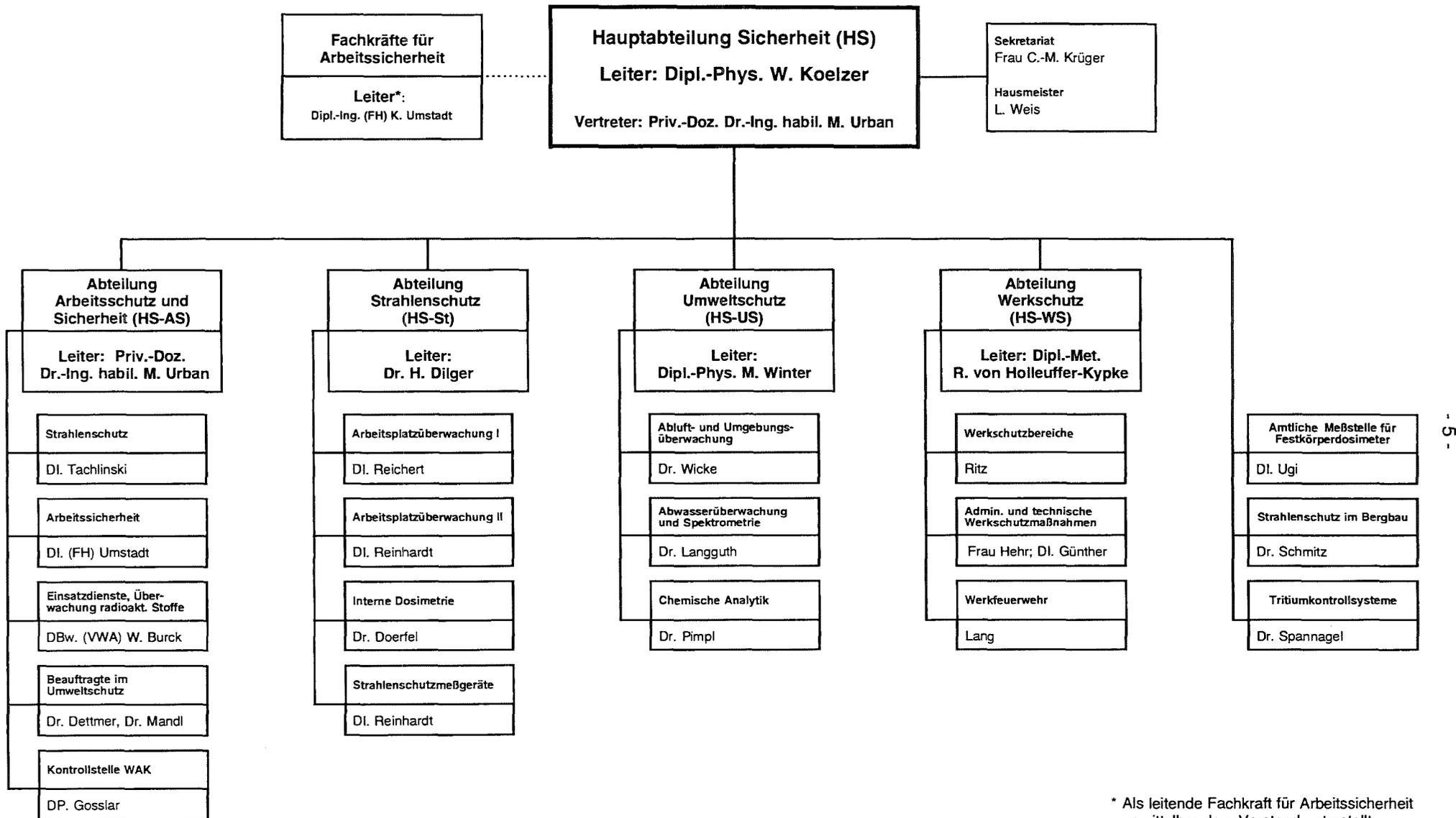
Abteilung Werkschutz

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

Zu den Aufgaben der Gruppe „Werkschutzbereiche“ gehört der allgemeine Werkschutz für das Gesamtareal des Forschungszentrums Karlsruhe durch Streifen- und Überwachungsdienst. Sie führt die Kontrolle aller zur Ein- oder Ausfuhr bestimmten Güter durch, überwacht das Schließwesen und ist für den ordnungsgemäßen Ablauf des Straßenverkehrs im Bereich des Forschungszentrums zuständig. Mit Hilfe des Ermittlungsdienstes werden die Einhaltung der Ordnungs- und Kontrollbestimmungen und die Aufklärung von Schadensfällen betrieben. Die aufgrund atomrechtlicher Anforderungen noch notwendigen Objektsicherungsmaßnahmen für kerntechnische Bereiche werden durch ein beauftragtes Bewachungsunternehmen durchgeführt.

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

Die „Werkfeuerwehr“ ist mit einer Schicht ständig auf dem Gelände einsatzbereit. Ihre Aufgaben umfassen neben Löscheinsätzen, vorbeugenden Brandschutzmaßnahmen und vielfältigen technischen Hilfeleistungen auch die Prüfungen, Instandsetzungen und Wartungsarbeiten an allen im Zentrum benutzten Atemschutztechnischen Geräten.



* Als leitende Fachkraft für Arbeitssicherheit unmittelbar dem Vorstand unterstellt.

Stand: 31.12.1996

1 Central Safety Department

Duties and Organization

The Central Safety Department is responsible for 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 Karlsruhe Research Center (Forschungszentrum Karlsruhe GmbH), and for monitoring liquid effluents and the environment of all facilities and nuclear installations on the premises of the Research Center. In addition, research and development work is carried out in the fields of behavior of tritium in the air/soil/plant system, tritium balances for nuclear fusion fuel cycles, and assessments of workplaces exposed to higher radon concentrations.

As per December 31, 1996, the Central Safety Department - organizational chart see page 9 - employed 260 scientific, technical, and administrative staff members, one predoctoral student, and five students for radiation protection engineers.

Industrial Health and Safety

The Industrial Health and Safety Unit has consulting, controlling and managing functions in the fields of radiation protection, radioactive materials surveillance and accountancy, industrial safety, 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 Center. These activities also include the centralized acquisition and documentation of safety related data, facts, and events.

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 computerized 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.

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 organization of the Center.

The "Accounting of Radioactive Substances Group" is responsible for central book-keeping and accountancy as well as surveillance of nuclear materials and radioactive substances at the Center. It compiles all inventory change reports and prepares inspections and inventory verification exercises by Euratom.

The "Environmental Protection Officers Group" combines all officers responsible for waste, hazardous substances, environmental impacts, and protection of water.

The "Task Forces Group" provides the Task Force Leader on Duty for the safety organization of the Center "around the clock", elaborates and updates assignment documents, conducts drills of the task forces, and writes reports about assignments.

The "Database Group" compiles and makes available important safety related information throughout the Center in various databases. The group provides the technical infrastructure and hardware and software systems for extensive online documentation of laws, ordinances and other external and internal regulations in safety related fields.

To perform the duties of the Radiation Protection Officer of the Karlsruhe Research Center in decommissioning the Karlsruhe Reprocessing Plant (WAK) a "WAK Control Unit" has been set up. It exercises controlling functions in the areas of plant safety, radiation protection, and disposal of radioactive waste.

Official Measuring Agency Center for Solid State Dosimeters

On behalf of the State of Baden-Württemberg, the official measuring agency for solid state dosimeters is operated for personnel dose monitoring in the State of Baden-Württemberg; on request it also fulfills duties for other states and in the field of non-official dosimetry.

Radiation Protection

The Radiation Protection Unit works mainly on behalf of the Radiation Protection Officers responsible for protecting the persons handling radioactive substances or exposed to ionizing radiation. In exercising these functions many staff members work in a decentralized way, being assigned to the institutes of the Center. 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 "Work Place Monitoring Groups" are responsible for the evaluation of pen dosimeters and for recording the personnel doses received. In accordance with a preset plan, routine contamination and dose rate checks are performed, and activity concentrations in the air of work rooms are monitored. The radiation protection staff organize decontamination whenever personnel is 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 Center and out of the premises of the Center. 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.

In the "Internal Dosimetry Group", human body counters and special partial body counters are used to determine nuclide depositions in the body. Procedures are developed 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 "Radiation Protection Instrumentation Group" 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.

Environmental Protection

The Environmental Protection Unit is responsible for monitoring the emissions of radioactive substances with gaseous and liquid effluents from the nuclear installations

and institutes of the Karlsruhe Research Center, and for monitoring environmental impacts in the vicinity of the Center, to demonstrate, on the basis of measurements and supporting calculations, that the limits set forth by the nuclear supervisory authorities, have been observed.

The "Gaseous Effluent and Environmental Monitoring Group" controls, coordinates and balances the activity discharges into the atmosphere from all facilities on the premises of the Research Center and determines the radiation exposure of the environment. Samples are regularly taken in the vicinity and counted in the laboratories of the department to determine the radioactivity content of air, water, soil, sediment, fish, and agricultural produce.

The "Liquid Effluent Monitoring and Spectrometry Group" determines the activity concentrations in the waste water 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. The Group is also 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 gaseous effluent monitoring. Since 1995 the group runs a so-called laboratory for clearance measurements in cooperation with the Central Decontamination Department to perform nuclide specific analyses required for clearance of materials originating from dismantling and decommissioning of nuclear facilities which can be reused without restrictions or disposed of as ordinary waste only if reference values of remaining radioactivity specified by public authorities are underrated.

As part of the R&D program of the Research Center, studies are conducted on the uptake of tritium in nutrition-related plants. A model has been developed which uses meteorological measured data to calculate the incorporation of tritium into wheat plants and, on this base, the ingestion dose after a release of tritium in the atmosphere. Exposure experiments with wheat plants are conducted to calibrate and validate the model. Aspects under study are the incorporation of HTO into the tissue water, the conversion into organically bound tritium, and the translocation of organically bound tritium into those parts of the wheat plant which will serve as food.

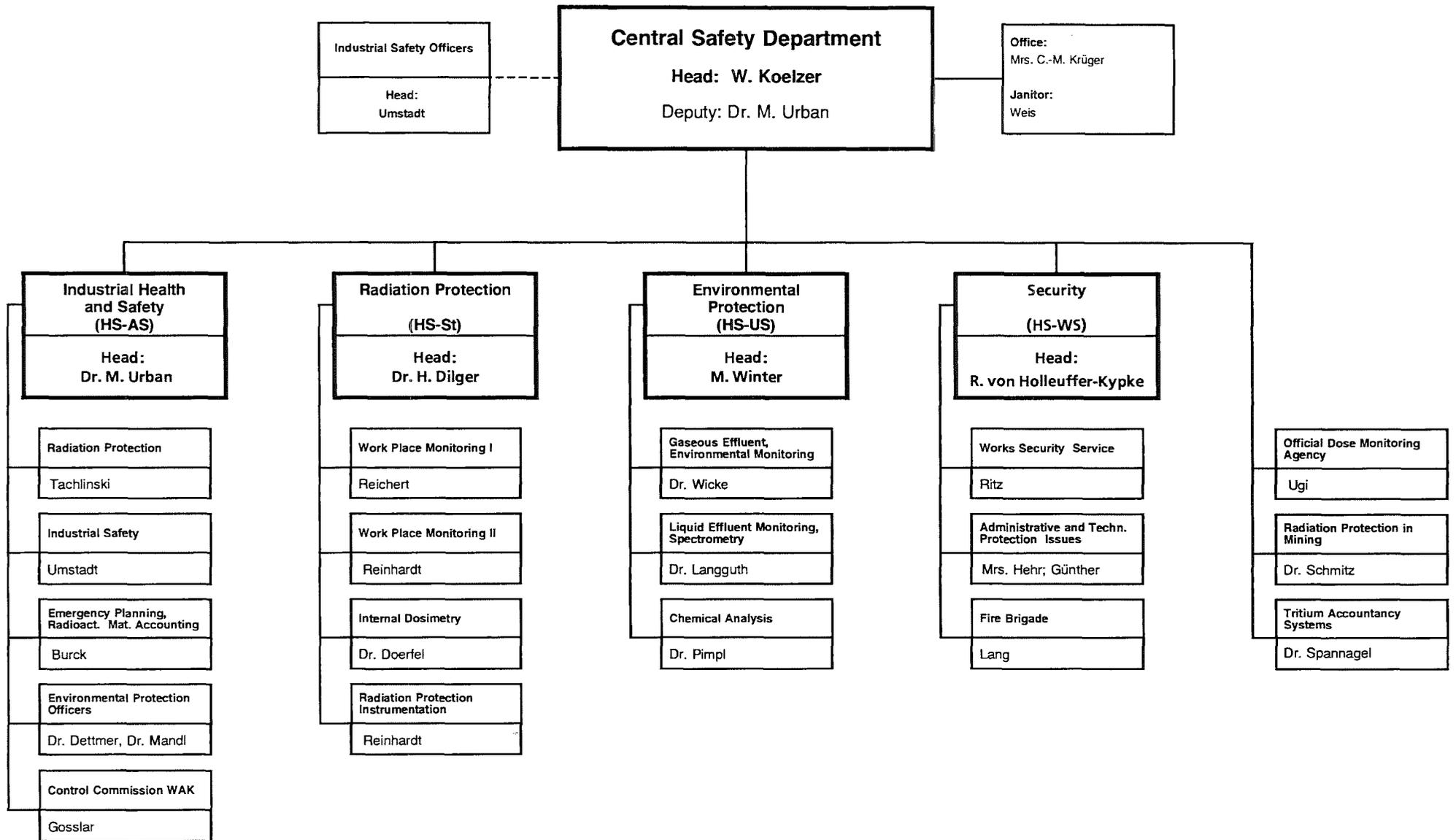
Works Security Service

The Security Unit is made up of the Works Security Service, the Administrative and 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 Center; these duties are fulfilled by patrol and surveillance services and by access control at the main entrance gates. The Group also checks all goods to be introduced into or removed from the Center, monitors locks, and is responsible for overseeing road traffic on the premises of the Center. The physical security measures in special nuclear areas necessary in compliance with the Atomic Energy Act are provided by an outside security company commissioned for these services.

The "Administrative and 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 Center. 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 Center.



Status as of Dec. 31st, 1996

2 Arbeitsschutz und Sicherheit

M. Urban

Die Abteilung Arbeitsschutz und Sicherheit hat beratende, kontrollierende und administrativ steuernde Funktionen auf den Gebieten des Strahlenschutzes, der Überwachung und Buchführung radioaktiver Stoffe, der Arbeitssicherheit, der Abfallwirtschaft, der Gefahrgüter, des Gewässerschutzes, des Immissionsschutzes 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 und die Erarbeitung und Pflege von zentrumsübergreifendem Regelwerk. Die Abteilung ist in verschiedene Arbeitsschwerpunkte gegliedert.

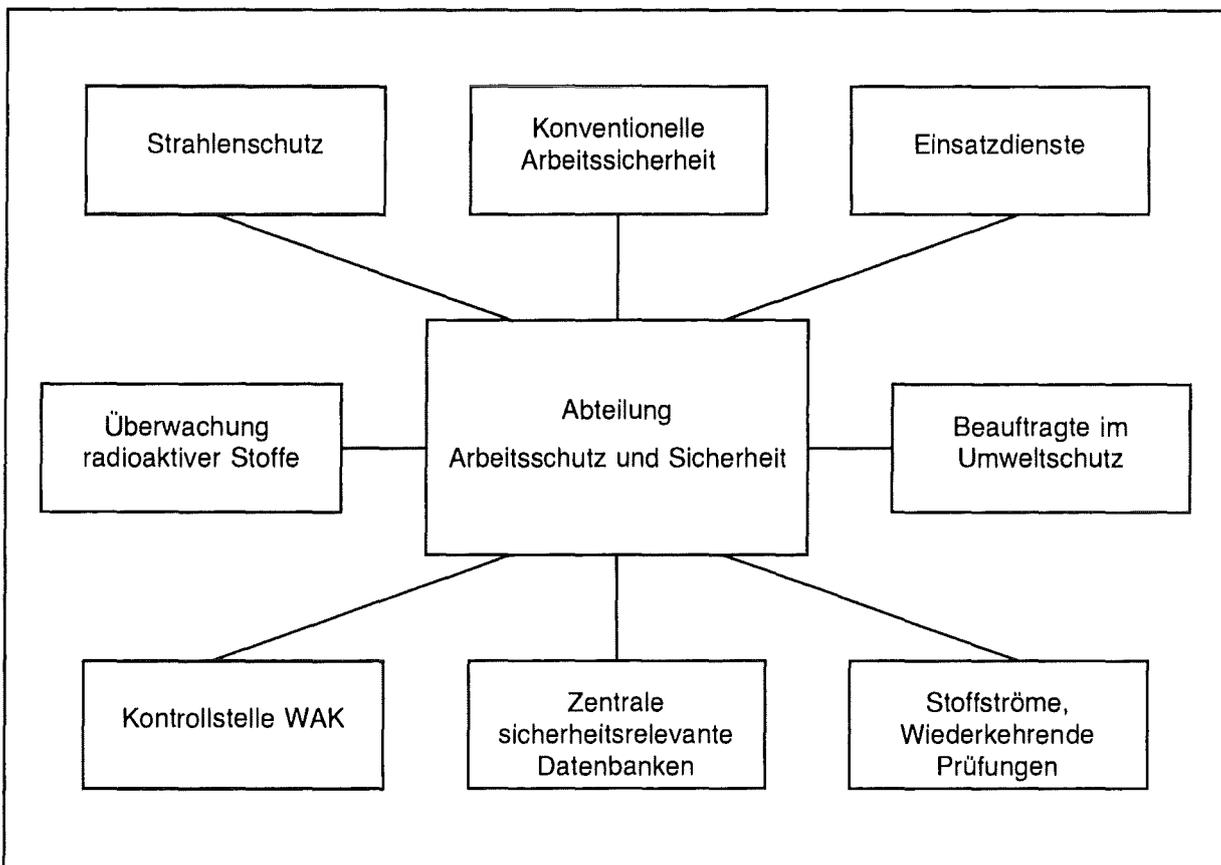


Abb. 2/1: Struktur der Abteilung HS-AS nach Arbeitsschwerpunkten

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. Es werden die Einhaltung der Vorschriften der Strahlenschutz- und der Röntgenverordnung sowie behördlicher Auflagen durch die Strahlenschutzbeauftragten überprüft. Weitere Aufgaben sind die Pflege der Datenbanken mit den persönlichen Meßdaten der beruflich strahlenexponierten Personen und die Terminverfolgung für Strahlenschutzbelehren und arbeitsmedizinische Untersuchungen.

Die Arbeitsgruppe "Konventionelle Sicherheit" dient als Kontaktstelle zu den Behörden (Badischer Gemeindeunfallversicherungsverband, Gewerbeaufsichtsamt) in Fragen der konventionellen Arbeitssicherheit. Sie wertet deren Auflagen aus und überwacht die innerbetriebliche Umsetzung. Sie führt die Bestellung der nach den Unfallverhütungsvorschriften geforderten Beauftragten durch und sorgt für deren Aus- und Weiterbildung. Zur Information der Mitarbeiter werden von der Arbeitsgruppe diverse Informationsmedien zur Verfügung gestellt. Zur Beurteilung des Unfallgeschehens im Forschungszentrum werden die gemeldeten Unfälle analysiert und mit einem Unfallbearbeitungsprogramm ausgewertet. Meldepflichtige Unfälle werden, nach Kenntnisnahme des Betriebsrates, an den Unfallversicherungsträger und das Gewerbeaufsichtsamt weitergeleitet.

Im Arbeitsschwerpunkt "Überwachung radioaktiver Stoffe" werden die zentrale Buchhaltung zur Überwachung von Kernmaterial und sonstigen radioaktiven Stoffen im Forschungszentrum durchgeführt, Materialbilanzberichte erarbeitet und an die zuständigen Behörden weitergeleitet und Inspektionen und Inventuren durch Euratom vorbereitet und begleitet.

Im Arbeitsschwerpunkt "Beauftragte im Umweltschutz" sind die Abfall-, Gefahrgut-, Immissionsschutz- und Gewässerschutzbeauftragten zusammengefaßt, denen die Aufgaben entsprechend den gesetzlichen Regelungen übertragen sind. Es sind dies insbesondere Beratungs-, Informations- und Überwachungsaufgaben in den einzelnen für die Umwelt relevanten Bereichen.

Im Arbeitsschwerpunkt "Stoffströme, wiederkehrende Prüfungen" werden wichtige umwelt- und sicherheitsrelevante Informationen für die Verantwortlichen in Form von Datenbanken zentrumsweit zur Verfügung gestellt. Hierzu gehören u. a. Sicherheitsdatenblätter und Gefahrstoffinformationen.

Im Arbeitsschwerpunkt "Einsatzdienste" sind die rund um die Uhr tätigen zur Sicherheitsorganisation des Forschungszentrums gehörenden Einsatzleiter vom Dienst zusammengefaßt. Es werden Einsatzunterlagen erarbeitet, aktualisiert und Alarmübungen der Sicherheitsdienste organisiert

Im Arbeitsschwerpunkt "Zentrale sicherheitsrelevante Datenbanken" wird die technische Infrastruktur für die elektronische Dokumentation von sicherheitsrelevanten Daten zur Verfügung gestellt, die erforderliche Hard- und Software gewartet und deren Nutzer geschult und beraten. Dazu wird ein Inhouse-Netzwerk mit mehreren Servern, auf denen die zentralen Datenbanken installiert sind, betrieben. Die Bereitstellung umfangreicher On-Line-Dokumentationen von Gesetzen, Verordnungen und anderen internen und externen Regelwerken gehört ebenfalls zum Aufgabenspektrum dieses Arbeitsschwerpunktes.

Zur Wahrnehmung der Aufsichtspflichten des Strahlenschutzverantwortlichen des Forschungszentrums Karlsruhe bei den Stilllegungsarbeiten der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) besteht eine "Kontrollstelle WAK". Sie hat kontrollierende Funktion auf den Gebieten Anlagensicherheit, Strahlenschutz und Entsorgung radioaktiver Abfälle.

2.1 Strahlenschutz

2.1 Aufgaben der Gruppe „Strahlenschutz“

W. Tachlinski

Das Forschungszentrum Karlsruhe GmbH ist als juristische Person Inhaber der atomrechtlichen Genehmigungen und somit Strahlenschutzverantwortlicher nach Strahlenschutz- und Röntgen-Verordnung.

Der Strahlenschutzverantwortliche hat zur Leitung und Beaufsichtigung der atomrechtlich relevanten Tätigkeiten Strahlenschutzbeauftragte zu bestellen. Bei der Bestellung ist sicherzustellen, daß alle sich aus den atomrechtlichen Bestimmungen und der jeweiligen Genehmigung ergebenden Aufgaben mit der erforderlichen Sachkunde abgedeckt sind. Hierbei sind die Aufgaben der Strahlenschutzbeauftragten voneinander abzugrenzen, um Doppelverantwortlichkeiten oder Lücken auszuschließen. Die vielen unterschiedlichen Bereiche des Forschungszentrums und die ständig erforderlichen Aktualisierungen bedingen einen erheblichen organisatorischen Aufwand. Zur Zeit sind 158 Personen zu Strahlenschutzbeauftragten nach StrlSchV und RÖV bestellt, die in 218 eigenständigen innerbetrieblichen Entscheidungsbereichen tätig sind.

Für die mit der Bestellung der Strahlenschutzbeauftragten und ihrer Betreuung verbundenen Aufgaben und der übrigen mit der Umsetzung der atomrechtlichen Bestimmungen verbundenen Arbeiten bedient sich der Strahlenschutzverantwortliche der Hauptabteilung Sicherheit und hier, insbesondere für die administrative Umsetzung, der Abteilung Arbeitsschutz und Sicherheit.

Die Gruppe „Strahlenschutz“ sorgt für eine einheitliche Umsetzung der internen Regeln, indem sie die Strahlenschutzbeauftragten berät, die Betriebsstätten begeht und an Aufsichtsbesuchen der Behörden teilnimmt. Sie hält den Strahlenschutzordner in Form einer Loseblattsammlung auf dem neuesten Stand. Dieser Ordner ist eine Arbeitsunterlage für die Strahlenschutzbeauftragten, in der alle wesentlichen Gesetze, Verordnungen, Richtlinien sowie das interne Regelwerk enthalten sind. Darüber hinaus verwaltet die Gruppe Strahlenschutz das zentrale Dosisregister mit Überwachungsaufgaben (Grenzwerte, Termine) und Dokumentationsfunktionen und nimmt die zentralisierten Aufgaben im Zusammenhang mit den Aufgaben des Forschungszentrums in bezug auf § 20 StrlSchV wahr. Die Betreuung des EDV-Netzwerkes der Abteilung ist ebenfalls in dieser Gruppe angesiedelt.

2.1.2 Betriebsüberwachung

W. Tachlinski

Neben der Beratung erfolgt die Betriebsüberwachung, zu der der Strahlenschutzverantwortliche verpflichtet ist, durch Begehungen der atomrechtlich relevanten Arbeitsstätten durch einen Strahlenschutzingenieur. Hierbei soll überprüft werden, ob die einschlägigen Bestimmungen wie Atomgesetz, Strahlenschutzverordnung, Röntgenverordnung, Genehmigungsaufgaben sowie das interne Regelwerk des Forschungszentrums beachtet werden. Dies kann neben allgemeinen Begehungen auch durch Schwerpunktprüfungen erfolgen, die sich auf Teilbereiche oder Teilaspekte erstrecken.

Zu den Begehungen werden der Strahlenschutzbeauftragte des Bereiches, die Abteilung Strahlenschutzüberwachung, die Medizinische Abteilung und der Betriebsrat eingeladen. Die Ergebnisse der Begehungen und - soweit erforderlich - die Meldung, daß ein festgestellter Mangel beseitigt ist, werden dokumentiert. Die 1996 festgestellten Mängel stellten keine akute Gefährdung dar und konnten in der Regel von den Verantwortlichen kurzfristig abgestellt werden.

2.1.3 Von HS-AS zentral erfaßte zu überwachende Personen nach Röntgen- und Strahlenschutzverordnung

W. Tachlinski

Nach der Röntgen- und Strahlenschutzverordnung unterliegen Personen der Strahlenschutzüberwachung, wenn sie sich in Strahlenschutzbereichen aufhalten. Die Erfassung

dieser Personen ist vorrangig die Aufgabe des jeweiligen zuständigen Strahlenschutzbeauftragten in enger Zusammenarbeit mit der Abteilung Strahlenschutz. Alle Dosiswerte für die beruflich strahlenexponierten Personen werden an HS-AS übermittelt und EDV-gestützt auf Grenzwertüberschreitungen überprüft. Die gesetzlich vorgeschriebene Dokumentation der Dosiswerte erfolgt in der Gruppe Strahlenschutz.

Für beruflich strahlenexponierte Personen sind zu erfassen: persönliche Daten, Angaben zum Ort und zur Art des Arbeitsplatzes, Angaben zur möglichen äußeren Strahlenexposition, Angaben zur möglichen Strahlenexposition durch Inkorporation sowie getroffene Schutzmaßnahmen. Mit der Erfassung unterliegt die betroffene Person je nach Kategorie (A oder B) der routinemäßigen administrativen Strahlenschutzüberwachung: rechtzeitige medizinische Untersuchungen, rechtzeitige Strahlenschutzbelehrungen, Ausrüstung mit Dosimetern, Dokumentation der Dosiswerte, Prüfung, ob die jeweiligen Dosis- oder Zufuhr Grenzwerte eingehalten sind.

Die routinemäßige Strahlenschutzüberwachung endet mit der Abmeldung durch den zuständigen Strahlenschutzbeauftragten. Die Daten sind 30 Jahre aufzubewahren. Hierzu ist ein umfangreiches „Personenregister“ erforderlich und zu warten. 1996 gab es für 2 375 Personen Überwachungszeiträume, die von einem Tag bis zu einem Jahr variieren können. Personen, die mehrfach an und abgemeldet wurden, also mehrere voneinander getrennte Überwachungszeiträume hatten, sind dabei auch mehrfach gezählt. Von den 2 757 Intervallen entfallen 1 375 auf Fremdfirmenangehörige. Diese große Zahl ergibt sich durch die hohe Fluktuation bei zum Teil sehr kleinen Intervallen. Für Personen, die nicht beruflich strahlenexponierte Personen entsprechend der Definition der Strahlenschutzverordnung sind, aber ebenfalls einer - modifizierten - Überwachung unterliegen (z. B. Besucher), erfolgt die vorgeschriebene Kontrolle und Dokumentation durch den zuständigen Strahlenschutzbeauftragten und nicht bei HS-AS.

2.1.4 Ergebnisse der Personendosisüberwachung

W. Tachlinski, D. Bosch

In Tab. 2/1 sind für die überwachten Mitarbeiter des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH die prozentualen Häufigkeitsverteilungen der Jahresdosiswerte und die höchste für einen Mitarbeiter festgestellte Jahresdosis aus externer Bestrahlung angegeben. 1996 wurden alle beruflich strahlenexponierten Mitarbeiter, unabhängig von der Kategorie, mit Phosphatglasdosimetern der amtlichen Meßstelle im Forschungszentrum Karlsruhe überwacht. Die angegebenen Dosiswerte sind die Summe aus Photonen- und - soweit gemessen - Neutronendosis.

Im Jahresmittel waren 1 077 Mitarbeiter als beruflich strahlenexponierte Personen eingestuft. Die durchschnittliche Strahlenexposition für beruflich strahlenexponierte Personen betrug 1996 0,14 mSv (Vorjahr 0,12 mSv). Die Personendosis aller beruflich strahlenexponierten Mitarbeiter des Forschungszentrums betrug 1996 insgesamt 151,2 mSv (Vorjahr 143 mSv).

Der für eine Einzelperson festgestellte höchste Jahreswert der Personendosis betrug 9,6 mSv. Dieser Wert wurde bei einer Kategorie-A-Person festgestellt. Somit blieb der Jahreswert deutlich unter dem Jahreshgrenzwert von 50 mSv.

Dosisintervall in mSv	Personendosis Häufigkeitsverteilungen der Jahresdosiswerte 1996 in %
H = 0,0	91,3
H = 0,2	2,2
H = 0,4	0,8
0,5 < H ≤ 1,0	2,0
1,0 < H ≤ 2,0	1,8
2,0 < H ≤ 5,0	1,4
5,0 < H ≤ 10,0	0,5
H > 10,0	0
Anzahl erfaßter Monatsdosiswerte	12 923
höchste Jahresdosis in mSv	9,6

Tab. 2/1: Ergebnisse der Personendosisüberwachung 1996 der Mitarbeiter des Zentrums

2.1.5 Personal in fremden Strahlenschutzbereichen

W. Tachlinski, B. Setrdle

Die Schutzvorschriften der Strahlenschutzverordnung unterscheiden nicht zwischen fremdem Personal und Personal des Inhabers einer atomrechtlichen Umgangs- oder Betriebsgenehmigung (Betreiber). Da sowohl der Arbeitgeber, der seine Mitarbeiter in einer fremden Einrichtung tätig werden läßt, als auch deren Betreiber den Schutz des tätigwerdenden Arbeitnehmers sicherzustellen haben, sind die Strahlenschutzverantwortlichkeiten und die daraus resultierenden Aufgaben genau abzugrenzen. Wer seine Mitarbeiter bei fremden Betreibern tätig werden läßt oder selbst tätig wird, bedarf einer Genehmigung nach § 20 StrlSchV, wenn diese Tätigkeit mit einer beruflichen Strahlenexposition verbunden ist. Diese Genehmigungen machen zur Auflage, daß zwischen der Fremdfirma und dem Betreiber ein Vertrag über die Abgrenzung der Aufgaben von Strahlenschutzbeauftragten abgeschlossen wird. Diese "Abgrenzungsverträge" werden für das Forschungszentrum von HS-AS abgeschlossen und verwaltet.

2.1.5.1 Fremdfirmen in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums

Zum Jahresende 1996 bestanden mit 258 Fremdfirmen Abgrenzungsverträge, von denen 198 tatsächlich tätig wurden und dabei 1 028 unterschiedliche Personen einsetzten. Die §-20-Genehmigungen dieser Fremdfirmen liegen uns vor.

In angemessenen Abständen werden allen Strahlenschutzbeauftragten sowie einigen Zentralstellen im Forschungszentrum Listen zur Verfügung gestellt, aus denen hervorgeht, mit welchen Firmen ein Abgrenzungsvertrag besteht, d. h. welche Firmen ihre beruflich strahlenexponierten Mitarbeiter in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums tätig werden lassen dürfen. Diese Listen sind auf Anforderung jederzeit mit neue-

stem Stand generierbar. Informationen zu Vertragsstatus, Zuständigkeiten, Anschriften, Fax- und Telefonverbindung etc. können auch on-line zur Verfügung gestellt werden.

Für die bei uns tätigen Fremdfirmenmitarbeiter muß das Forschungszentrum gemäß Abgrenzungsvertrag die nichtamtlichen Personendosen ermitteln. Diese Dosen wurden beim Verlassen des Forschungszentrums in die Strahlenpässe eingetragen. Zusätzlich dazu erhalten die Fremdfirmen durch HS-AS eine jährliche Übersicht über die Tätigkeiten ihrer Mitarbeiter im Forschungszentrum sowie über die dabei erhaltenen Dosen. Diese Dosisübersicht enthält neben den nichtamtlichen Dosen auch die eventuell durch uns gemessenen amtlichen Neutronendosen sowie Effektiv- und Teilkörperdosen aus innerer Exposition.

Wurden Fremdfirmenmitarbeiter in inkorporationsgefährdeten Bereichen tätig, so werden den betroffenen Firmen monatlich die Ergebnisse der Raumluf überwachung (Aktivitätszufuhr und Dosis) ortsbezogen mitgeteilt. Die Fremdfirmen können anhand dieser Angaben das Erfordernis der regelmäßigen Inkorporationsüberwachung prüfen sowie die individuelle Dosis durch Inhalation unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufenthaltsdauer selbst abschätzen. Diese von den Firmen selbst abzuschätzenden Dosen können selbstverständlich nicht in der oben genannten jährlichen Dosisübersicht enthalten sein. Wurden bei der Raumluf überwachung erhöhte Aktivitätskonzentrationen während eines bestimmten Zeitraumes festgestellt, wurde für die in dieser Zeit anwesenden Fremdfirmenmitarbeiter eine Zufuhr- und Dosisabschätzung durchgeführt und diese Ergebnisse in die Strahlenpässe der betroffenen Personen eingetragen.

Sind Fremdfirmenmitarbeiter von Zwischenfällen betroffen, die eine Inkorporationsüberwachungsmaßnahme erforderlich machen, wird den Firmen das Ergebnis mitgeteilt. Neben diesen routinemäßigen Mitteilungen an die unter § 20 StrlSchV im Forschungszentrum arbeitenden Fremdfirmen ist HS-AS auch die Kontaktstelle in allen Fragen des Strahlenschutzes und nimmt alle aus den Abgrenzungsverträgen resultierenden Informationspflichten des Forschungszentrums gegenüber den Fremdfirmen wahr.

2.1.5.2 Mitarbeiter des Forschungszentrums Karlsruhe in Strahlenschutzbereichen fremder Anlagen

Das Forschungszentrum Karlsruhe verfügt über eine Genehmigung nach § 20 StrlSchV. HS-AS schließt bei Bedarf die erforderlichen Abgrenzungsverträge ab, stellt Strahlenpässe aus, aktualisiert sie und dokumentiert die ihr von Fremdinstitionen übermittelten Daten im Dosisregister. Zum Jahresende bestanden 31 solcher Abgrenzungsverträge. Von den derzeit zur Strahlenschutzüberwachung angemeldeten Personen besaßen zum Jahresende 90 Personen einen gültigen Strahlenpaß, wobei im Jahr 1996 zehn Strahlenpässe neu registriert wurden.

2.1.6 Regelmäßige Inkorporationsüberwachung im Forschungszentrum

B. Setrdle

Die regelmäßige Inkorporationsüberwachung ist bei Personen erforderlich, die regelmäßig mit offenen radioaktiven Stoffen umgehen und bei denen die maximale inkorporierbare Aktivität pro Jahr größer als 10 % der Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr sein kann. Zur Bestimmung der zugeführten Aktivität durch Inkorporation können verschiedene Meßmethoden angewandt werden, z. B. Messung der Raumlufaktivitätskonzentration am Arbeitsplatz, direkte Messung der Aktivitäten im Körper oder Ausscheidungsanalysen.

2.1.6.1 Inkorporationsüberwachung des Eigenpersonals

Die Durchführung der regelmäßigen Inkorporationsüberwachung erfolgte in Übereinstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde auf der Grundlage der "Festlegung des Sicherheitsbeauftragten zur Inkorporationsüberwachung". Diese Festlegung setzt die Richtlinie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit für die "Physikalische Strahlenschutzkontrolle bei innerer Exposition" vom 20.12.1993 um.

Die Inkorporationsüberwachung auf Transurane stützte sich maßgeblich auf die regelmäßige Überwachung der Aktivitätskonzentration der Luft am Arbeitsplatz (Raumluftüberwachung). Außerdem sind pro Jahr eine Stuhl- und eine Urinanalyse zur Überprüfung der durch die Raumluftüberwachung ermittelten Zufuhrwerte durchzuführen, wobei der Abstand zwischen den beiden Analysen sechs Monate betragen soll. Zusätzlich zu den Festlegungen des Sicherheitsbeauftragten wird von der zuständigen Aufsichtsbehörde gefordert, daß die Stuhlanalysen halbjährlich durchzuführen sind, sofern die über ein halbes Jahr aus der Raumluftüberwachung berechnete Aktivitätszufuhr mehr als 10 % der Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr beträgt. Dies war im Berichtsjahr nicht der Fall.

Das Erfordernis einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung auf Transurane war im Berichtsjahr nur in Gebäuden der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe gegeben. Es wurden 68 Personen überwacht. Das Verfahren zur Bewertung der Raumluftüberwachung führte in vielen Fällen zu einer sehr konservativen Festlegung von Körperdosen.

Neben der Überwachung auf Transurane war in verschiedenen Instituten des Forschungszentrums eine Überwachung auf Tritium erforderlich. Dazu mußte monatlich eine Urinprobe abgegeben werden. Zum Jahresende wurden 40 Personen auf Tritium überwacht. Die Meßergebnisse lagen überwiegend unterhalb der Nachweisgrenze von 200 Bq/l, der höchste Wert betrug $8,9 \cdot 10^4$ Bq/l. Selbst der Höchstwert trägt nicht zur Summe der effektiven Dosis bei, denn nach Umrechnung und vorschriftskonformer Rundung ergibt sich für die daraus ermittelte Zufuhr eine effektive Dosis von Null Millisievert.

Wird beim Umgang mit anderen Radionukliden eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung erforderlich, so werden das jeweilige Überwachungsverfahren und die Überwachungshäufigkeit individuell festgelegt. Im Berichtsjahr war das nicht der Fall.

Bei der Durchführung der Inkorporationsüberwachung ist eine enge Zusammenarbeit zwischen der Meßstelle und HS-AS erforderlich. Nachdem HS-AS die betroffenen Personen bei der Meßstelle zur Inkorporationsüberwachung angemeldet hat, wird die Einbestellung zur Untersuchung von der Meßstelle eigenständig durchgeführt. Erfolgte Untersuchungstermine werden HS-AS zur Durchführung der Terminüberwachung mitgeteilt. Bei Überschreitung der vorgegebenen, individuellen Überwachungsintervalle werden die betroffenen Personen von HS-AS im Auftrag des Sicherheitsbeauftragten für den Umgang mit den offenen radioaktiven Stoffen gesperrt.

2.1.6.2 Inkorporationsüberwachung des Fremdfirmenpersonals

Die regelmäßige Inkorporationsüberwachung bei Fremdfirmenmitarbeitern ist grundsätzlich Sache der Fremdfirma. Das Forschungszentrum übernimmt diese Aufgabe der Fremdfirmen nur für die Firmen, die einen Vertrag über die Durchführung der regelmäßigen Inkorporationsüberwachung mit dem Forschungszentrum abgeschlossen haben. Die Kosten der regelmäßigen Inkorporationsüberwachung sind von der Fremdfirma zu tragen. Solche Sonderverträge beinhalten als Leistungen des Forschungszentrums sowohl die Überprüfung des Erfordernisses der Überwachung und die Festlegung der Inkorporationsüberwachungsart als auch die Auswertung der entsprechenden Proben, die Terminüberwachung und die Mitteilung der Meßergebnisse an die Fremdfirmen. Zur Zeit besteht ein solcher Vertrag zur Durchführung der Inkorporationsüberwachung mit zwei

Fremdfirmen, wobei eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung im Jahr 1996 bei 19 Fremdfirmenmitarbeitern durchgeführt wurde.

2.2 Arbeitsschutz

2.2.1 Organisation und Aufgaben der Gruppe konventionelle Arbeitssicherheit

K. Umstadt

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, zur Verhütung 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 einer menschengerechten Gestaltung der Arbeit zu unterstützen.

2.2.2 Unfallgeschehen

K. Umstadt

Nach § 193 des Sozialgesetzbuches VII (SGB 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. Die Anzeige ist binnen drei Tagen zu erstatten, nachdem der Unternehmer von dem Unfall Kenntnis erlangt hat. Die Anzeige ist vom Betriebsrat mit zu unterzeichnen. Der Unternehmer hat die Sicherheitsfachkraft und den Betriebsarzt über jede Unfallanzeige in Kenntnis zu setzen. Unabhängig hiervon werden aus grundsätzlichen Erwägungen sämtliche Unfälle im Forschungszentrum dem zuständigen Unfallversicherungsträger angezeigt, ohne Rücksicht auf die Meldepflichtigkeit. Nach diesen Kriterien wurden für das Jahr 1996 insgesamt 90 Arbeitsunfälle an den Unfallversicherer gemeldet. Davon waren 65 Unfälle anzeigepflichtig (Betriebsunfälle: 38; Wegeunfälle: 25; Sportunfälle: 2). Einen Überblick über Art der Verletzungen und verletzte Körperteile gibt Tab. 2/2.

Die Wirksamkeit der Schwerpunktmaßnahme "Hand und Fingerschutz" aus dem Jahr 1995 hat sich auch in den Unfallzahlen 1996 bestätigt. Hier konnte die Zahl der Hand- und Fingerverletzungen von 33 aus dem Jahre 1994 auf 16 Verletzungen im Jahre 1996 reduziert werden.

Statistische Kennziffern wie das Verhältnis zwischen der Zahl der Unfallereignisse und der Zahl der Beschäftigten (Forschungszentrum: 3 800 Mitarbeiter) oder der tatsächlich geleisteten Arbeitsstunden ermöglichen eine Bewertung der Unfalldaten. Die Darstellung der Unfallhäufigkeit bezogen auf 1 000 Mitarbeiter gibt einen schnellen Überblick über die Wirksamkeit von Unfallverhütungsmaßnahmen in einem Betrieb. Sie gestattet, meh-

rere Tätigkeitsbereiche eines Betriebes untereinander, Unternehmen derselben Branche oder andere Wirtschaftszweige zu vergleichen. Diese statistischen Meßziffern sind für das Unfallgeschehen des Forschungszentrums im Jahre 1996 in Tab. 2/3 wiedergegeben. Beim Vergleich liegt das Forschungszentrum bei den betrieblichen Unfällen deutlich unterhalb der Werte der gewerblichen Wirtschaft.

verletzte Körperteile	Jahr		Art der Verletzung	Jahr	
	1996	1995		1996	1995
Kopf	4	2	Prellungen, Quetschungen	15	12
Augen	1	2	Verstauchungen	1	1
Rumpf	1	3	Zerrungen, Verrenkungen	2	4
Beine, Knie	6	8	Wunde, Riß	12	19
Füße, Zehen	4	4	Knochenbruch	6	4
Arme	4	1	Verbrennungen, Ätzungen	2	0
Hände, Finger	16	17	Infektion, Vergiftung	1	0
Halswirbel	6	1			

Tab. 2/2: Art der Verletzungen und der verletzten Körperteile bei den anzeigepflichtigen Betriebsunfällen

Wie die Statistik zeigt, sind die anzeigepflichtigen Betriebsunfälle gegenüber dem Vorjahr weiter zurückgegangen. Lediglich bei den anzeigepflichtigen Wegeunfällen ist ähnlich wie in der gewerblichen Wirtschaft, eine Zunahme insbesondere durch Straßenverkehrsunfälle zu verzeichnen. Diese Tendenz wird auch dadurch bekräftigt, daß sich 27 % der Betriebsunfälle im innerbetrieblichen Straßenverkehr ereigneten.

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. Hier unterstützen die gewerblichen Berufsgenossenschaften die Arbeit des Deutschen Verkehrssicherheitsrates in fachlicher und finanzieller Hinsicht.

Im Bereich des innerbetrieblichen Verkehrs ist zu überlegen, ob durch zusätzliche innerbetriebliche Maßnahmen eine Verringerung der Unfallzahlen zu erreichen ist.

Art der Unfälle	Zahl der anzeigepflichtigen Unfälle je 1 000 Vollbeschäftigte	
	Forschungszentrum 1996	gewerbliche Wirtschaft 1995*
meldepflichtige Betriebs- und Sportunfälle	10,5	46,7
meldepflichtige Wegeunfälle	6,6	5,9

* Daten von 1996 liegen noch nicht vor

Tab. 2/3: Unfälle im Forschungszentrum Karlsruhe 1996 im Vergleich zur gesamten gewerblichen Wirtschaft

2.2.3 Arbeitsplatzüberwachungen

K. Umstadt

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.

Der Arbeitgeber hat die Beurteilung je nach Art der Tätigkeiten vorzunehmen. 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 der 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. Hierzu ist es notwendig, durch Messungen Ergebnisse zu erhalten, welche die Basis für eventuell durchzuführende Maßnahmen bilden

Zur Durchführung der gebräuchlichsten Messungen (Lärm, Klima, Beleuchtung) wurden Mitarbeiter der Abteilung Strahlenschutz meßtechnisch ausgebildet. Sie werden zukünftig auf Anforderung der Organisationseinheiten oder der zuständigen Fachkraft für Arbeitssicherheit die entsprechenden Messungen vornehmen.

Die Notwendigkeit der Durchführung von Arbeitsplatzüberwachungen sind entweder bei Betriebsbegehungen festgestellt oder aufgrund von Anfragen der Mitarbeiter oder der Betriebsärzte festgelegt.

2.2.4 Aus- und Fortbildung

K. Umstadt

Im Berichtszeitraum wurde die Aus- und Weiterbildung in Arbeitsschutz- und Arbeitssicherheitsfragen des Fortbildungszentrums für Technik und Umwelt unterstützt. Themenschwerpunkte waren: Arbeitsschutz und Brandschutz, Sicherheit auf Baustellen, Tragen von Atemschutzgeräten, Aus- und Fortbildung für Kranführer und Gabelstaplerfahrer. Weiterhin wurden Kurse mit den Themen "Umgang mit Gasen" und "Fremdfirmenmitarbeiter im Betrieb" durchgeführt.

In den einzelnen Kursen wurden Mitarbeitern mit Sicherheitsfunktionen und Führungskräften die im Arbeitsschutzrecht, der Unfallverhütung und im Umweltschutz notwendigen Kenntnisse vermittelt. Es erfolgten außerdem Ausbildungen zu Sachkundigen im Hebezeugbetrieb und der Instandhaltung von Aufzügen. Für den innerbetrieblichen Transport wurden Mitarbeiter entsprechend den Unfallverhütungsvorschriften für das Bedienen von Krananlagen und das Führen von Flurförderzeugen geschult.

Zur Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter sowie zur Durchführung der gesetzlich geforderten Belehrungen hat HS-AS ca. 100 Arbeitsschutzfilme aus verschiedenen Themenbereichen beschafft. Diese Filme können von den einzelnen Organisationseinheiten tageweise ausgeliehen werden.

2.2.5 Arbeitsschutzausschuß

K. Umstadt

Nach § 11 des Arbeitssicherheitsgesetzes hat der Arbeitgeber in Betrieben, in denen Betriebsärzte oder Fachkräfte für Arbeitssicherheit bestellt sind, einen Arbeitsschutzausschuß zu bilden. Die personelle Zusammensetzung und die Aufgaben des Arbeitsschutzausschusses sind im Arbeitssicherheitsgesetz geregelt. Unter Berücksichtigung der jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten sollen u. a. Empfehlungen für betriebliche Sicherheitsprogramme erarbeitet werden.

In den Sitzungen des Arbeitsschutzausschusses im Jahre 1996 wurden neben zahlreichen Einzelfragen aktuelle Themen behandelt. Schwerpunkte hierbei waren:

- Fertigstellung der Kleiderordnung

Die von einem Unterausschuß des Arbeitsschutzausschusses neu erstellte Kleiderordnung wurde als Empfehlung an den Arbeitgeber weitergeleitet.

Die neue Kleiderordnung sieht durchgehend die Verwendung marktüblicher, genormter Teile der persönlichen Schutzausrüstung vor, ohne zusätzliche zentrumspezifische Anforderungen aufzustellen. Dadurch werden marktübliche Weiterentwicklungen automatisch mit übernommen. Durch die Verwendung standardisierter Ausrüstungsteile ist mit einer Kostensenkung zu rechnen.

- Registrierung der Unfälle von Fremdfirmen

Um eine Übersicht über die Unfallhäufigkeit von Fremdfirmen auf dem Gelände des Forschungszentrums zu bekommen, wurde vom Arbeitsschutzausschuß empfohlen, in Verträgen mit Fremdfirmen eine Regelung aufzunehmen, die bewirkt, daß bei meldepflichtigen Unfällen von Fremdfirmen die Arbeitssicherheitsorganisation des Forschungszentrums sofort informiert wird.

- Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung für Auszubildende

Um zu vermeiden, daß Bewerber eine Ausbildung aufnehmen, die nicht ihrer körperlichen Konstitution entspricht, wurde empfohlen, ihnen im Rahmen der Arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung eine Einstellungsuntersuchung im Sinne einer Berufsanfängeruntersuchung anzubieten. Beim derzeitigen Verfahren werden entsprechende Differenzen erst erkannt, wenn die Ausbildung schon weit fortgeschritten bzw. abgeschlossen ist.

2.3 Bilanzierung radioaktiver Stoffe

W. Burck

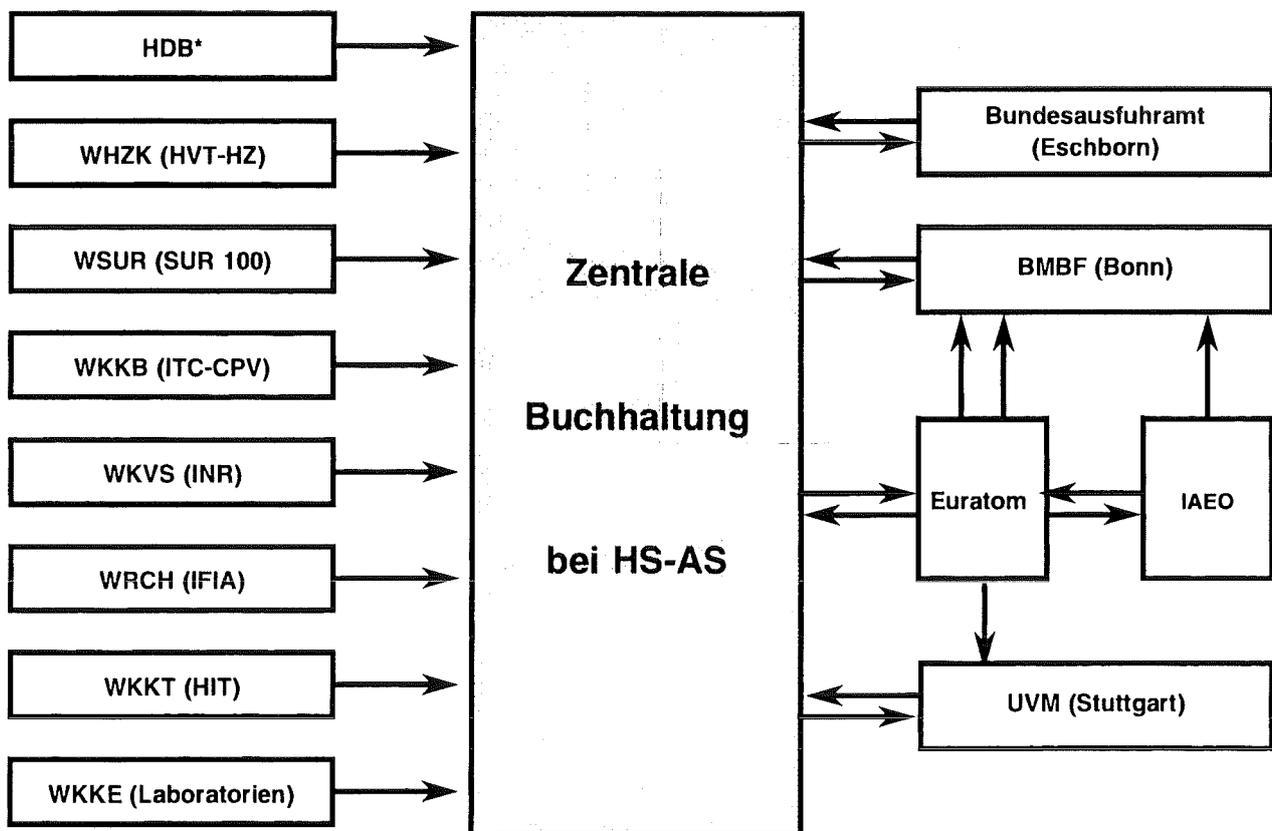
2.3.1 Zentrale Buchhaltung zur Erfassung und Meldung von Kernmaterial

Die Rechtsgrundlagen zur Erfassung, Überwachung und Meldung des Kernmaterials ergeben sich aus nationalen und internationalen Abkommen, Gesetzen, Verordnungen und Vorschriften. Von grundlegender praktischer Bedeutung sind im internationalen Bereich die "Besonderen Kontrollbestimmungen" der Kommission der Europäischen Gemeinschaften für die einzelnen Materialbilanzzonen. Aufgrund dieser Bestimmungen ist der Besitz von Kernmaterial von der Beschaffung bis zur Abgabe lückenlos zu erfassen. Bestandsänderungen sind je nach Einzelfall zu melden an: Euratom; Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg; Bundesausfuhramt; Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie; Gewerbeaufsichtsamt.

Um Bewegungen innerhalb des Zentrums erfassen zu können, hat Euratom die Einrichtungen des Forschungszentrums in sieben Materialbilanzzonen und in den Bereich Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe aufgeteilt. Die Organisationseinheiten des Forschungszentrums melden monatlich alle Bestands- und Chargenänderungen an die zentrale Buchhaltung der Gruppe Kernmaterialüberwachung. Hier werden die Meldungen anhand von Lieferscheinen geprüft, verbucht und rechnergestützt erfaßt. Auf dieser Grundlage werden dann die monatlichen Bestandsänderungsberichte an die Aufsichtsbehörden erstellt und EDV-gerecht übermittelt. 1996 waren 1 365 Änderungen zu bearbeiten. Die an der Erfassung und Überwachung des Kernmaterials beteiligten internen und externen Meldeinstanzen und die zugehörigen Meldewege sind als Fließschema in Abb. 2/2 dargestellt.

2.3.2 Aufsicht durch Euratom und IAEO

Im Jahre 1996 haben die Direktion Sicherheitsüberwachung von Euratom, Luxemburg, und die Internationale Atomenergie-Organisation, Wien, im Forschungszentrum Karlsruhe insgesamt acht Inspektionen durchgeführt. Ferner fanden in diesem Zeitraum ebenso viele Buchprüfungen bei HS-AS statt. Für diese Inspektionen waren die realen Kernmaterialbestände vom jeweiligen Betreiber in enger Zusammenarbeit mit der Gruppe Kernmaterialüberwachung zu erheben.



* Die Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe unterliegt der Überwachung von Euratom, ist jedoch nicht als Materialbilanzzone im Sinne der Verordnung (Euratom) Nr. 3227/76 einzustufen.

Abb. 2/2: Materialbilanzzonen des Forschungszentrums Karlsruhe, Meldeinstanzen und Meldewege zur Kernmaterialüberwachung

2.3.3 Zentrale Buchhaltung zur Erfassung und Meldung sonstiger radioaktiver Stoffe und Meldung von radioaktivem Abfall

Bei den umschlossenen radioaktiven Stoffen ist gemäß § 75 StrlSchV jährlich mindestens eine Dichtheitsprüfung durchzuführen. Die Wiederholungsprüfungen können entfallen oder in größeren Zeitabständen durchgeführt werden, sofern dies nach den Richtlinien über Prüfristen bei Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen möglich ist. Wird hiervon Gebrauch gemacht, so ist der Freistellungsgrund in der Jahresmeldung zu vermerken. Die zur Anfertigung der Jahresmeldung gespeicherten Daten bilden die Grundlage für die Terminüberwachung zu Wiederholungsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen, die für das Forschungszentrum zentral durch HS-AS durchgeführt wird. Die Wiederholungsprüfungen selbst werden durch HS-St entsprechend der erteilten Genehmigung durchgeführt. Die Anzahl der erfaßten umschlossenen radioaktiven Stoffe, aufgeschlüsselt nach prüfpflichtigen und nicht prüfpflichtigen, zeigt Tab. 2/4.

Aufgrund der sich aus § 78 der StrlSchV und aus behördlichen Auflagen ergebenden Buchführungs- und Anzeigepflichten muß das Forschungszentrum in bestimmten Zeitintervallen den zuständigen Behörden Gewinnung, Erzeugung, Erwerb und sonstigen Verbleib von radioaktiven Stoffen anzeigen. Hierzu sind entsprechende Meldungen der Strahlenschutzbeauftragten der einzelnen Organisationseinheiten an HS-AS erforderlich. Die erforderlichen Formblätter zur Erstellung der einzelnen Meldungen werden ihm jeweils termingerecht von HS-AS zugesandt.

erfaßte Strahler/Präparate	582
prüfpflichtig	117
nicht prüfpflichtig nach Richtlinie	
Ziffer 6.2.1	428
Ziffer 6.2.2	32
Ziffer 6.2.3	-
Ziffer 6.2.4	5

Tab. 2/4: Anzahl der anzeigepflichtigen, umschlossenen radioaktiven Stoffe im Forschungszentrum Karlsruhe (Stand: 31.12.1996)

Im Berichtsjahr wurden die Bearbeitung, Prüfung und zum Teil rechnergestützte Erfassung von 1 689 internen und externen Bestandsänderungen an sonstigen radioaktiven Stoffen durchgeführt. Um die in Tab. 2/5 aufgeführten Berichte erstellen zu können, sind oft Rückfragen innerbetrieblich sowie bei externen Absendern/Lieferanten erforderlich.

2.3.4 Kontrolle der genehmigten Umgangsmengen radioaktiver Stoffe

Um zu gewährleisten, daß die genehmigten Umgangsmengen an Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen eingehalten werden, hat HS-AS einen Überwachungsmechanismus installiert. Die Organisationseinheiten sind verpflichtet, die Buchwerte an radioaktiven Stoffen den genehmigten Werten gegenüberzustellen und HS-AS mitzuteilen. 1996 wurden insgesamt 377 Meldungen mit den bei HS-AS gespeicherten Daten einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Es konnten keine Überschreitungen festgestellt werden.

Art der Berichte	Anzahl der Berichte und Berichtsempfänger			
	Euratom	Umweltministerium	Gewerbeaufsichtsamt	gesamt
Monatsberichte - Erwerb, Erzeugung und Abgabe - Bestand an Schwerwasser - Bestände an radioaktivem Abfall und Auslastung von Genehmigungen - Erwerb und Abgabe von Tritium kanadischen Ursprungs	12	12	12	12
Quartalsberichte - Bestände und Bestandsänderungen an radioaktivem Abfall	4			4
Halbjahresberichte - Erzeugung radioaktiver Stoffe		2	2	4
Jahresberichte - Bestand an offenen radioaktiven Stoffen - Bestand an umschlossenen radioaktiven Stoffen - Bestand an Schwerwasser - Bestand an Tritium kanadischen Ursprungs - Zugang und Bestand an radioaktivem Abfall	1	1	1	2
gesamt	29	19	19	67

Tab. 2/5: Umfang der Berichterstattung 1996

2.3.5 Überwachung der Einhaltung von Grenzwerten für "gemessenen Abfall"

Neben den Bestandsänderungen des Kernmaterials wird auch für alle Materialbilanzzonen die gemessene oder aufgrund von Messungen abgeschätzte Menge an Kernmaterialabfall, der sogenannte „gemessene Abfall“, überwacht und dokumentiert. Dazu sind in den "Besonderen Kontrollbestimmungen" von Euratom für die einzelnen Materialbilanzzonen des Forschungszentrums Monats- und Jahresgrenzwerte für den gemessenen Abfall festgelegt. Bis zu diesen Grenzwerten darf Kernmaterialabfall in nicht rückgewinnbarer Form an das Abfallager des Forschungszentrums abgegeben werden. Die Materialbilanzzonen werden monatlich mittels eines Listenausdrucks über die jeweilige Inanspruchnahme ihres genehmigten Abgabekontingents informiert.

2.3.6 Erfassung von Kernmaterialtransporten und Hilfestellung bei Planung und Abwicklung

Zu den Aufgaben der Gruppe Kernmaterialüberwachung gehört auch die buchmäßige Überwachung von Kernmaterialtransporten und Hilfestellung bei Planung und Abwicklung. Alle externen Transporte des Forschungszentrums Karlsruhe werden bei der Ein-

fahrt in das oder der Ausfahrt aus dem Zentrum der zentralen Buchhaltung bei HS-AS gemeldet. Die Zahl der 1996 erfaßten Kernmaterialbewegungen zeigt Tab. 2/6.

Materialkategorie	intern	extern
Natururan	13	4
abgereichertes Uran	566	7
Thorium	5	2
angereichertes Uran	9	-
Plutonium	534	2
gesamt	1127	15

Tab. 2/6: Anzahl der Kernmaterialbewegungen 1996

Grundlage dieser Erfassung sind die Liefer- und Versandscheine. Die Anzahl der Kernmaterialbewegungen ist jedoch weder mit der Anzahl von Kernmaterialtransporten noch mit der Anzahl der ausgewerteten Liefer- und Versandscheine identisch. Zwar gehört zu jedem einzelnen Versandstück ein Liefer- oder Versandschein, jedoch werden bei einem Transport oft mehrere Versandstücke gleichzeitig transportiert. Ferner kann ein sogenanntes Versandstück aus mehreren Positionen bestehen, und zudem kann das jeweilige Versandgut gleichzeitig Kernmaterial verschiedener Kategorien enthalten.

2.3.7 Tritiumbilanzierung für Fusionsanlagen

G. Spannagel

Für Fusionsanlagen werden sowohl für die erste Wand wie auch für die dem Plasma zugewandten Komponenten Materialien diskutiert, die zu einer sehr großen Tritiumrückhaltung führen werden. Dieses "verborgene" Tritium kann nicht gemessen werden; dies wird die Inventur und damit die Bilanzierung des Tritiums erschweren. Andererseits dürfen mittels ohnehin erforderlicher Konditionierung nennenswerte Anteile des beim Betrieb gebundenen Tritiums wieder einer Messung zugänglich werden.

Die somit vorgegebene Betriebsstrategie wurde in einem Prozeßmodell nachgebildet. Die für eine Bilanzierung typischen Kenngrößen, nämlich die Bilanzierungsgüte und die mittlere Laufzeit bis zur Aufdeckung einer Anomalie, wurden mittels Monte-Carlo-Simulation berechnet. Unerwartet folgt aus den Rechnungen, daß der Zusammenhang zwischen Bilanzierungsgüte und der mittleren Laufzeit bis zum Erkennen einer Tritiumanomalie vom Umfang des verborgenen Tritiuminventars θ nahezu unabhängig ist. Dies Ergebnis ist offenbar für die bei ITER geplante Betriebsstrategie, die Inventur und die damit verbundene Bilanz charakteristisch.

2.4 Einsatzleitung und Einsatzplanung

W. Burck

Zur Gewährleistung eines hohen Sicherheitsstandards im Forschungszentrum gehört eine funktionierende Sicherheitsorganisation. Ständige Sicherheitsdienste und Einsatztrupps im Anforderungsfall rund um die Uhr unter der Leitung des Einsatzleiters vom

Dienst (EvD) erfüllen diese Anforderungen auf der Basis eines umfangreichen internen Regelwerks.

2.4.1 Aufgaben

Die Arbeitsgruppe "Einsatzleitung und Einsatzplanung" hat im einzelnen folgende Aufgaben

- Umsetzen, Aktualisieren und Kontrollieren der einsatzspezifischen Unterlagen (Alarmplan, allgemeine Sicherheitsregelung und Melderegulung des Forschungszentrums; Alarmpläne der Fremdinstitutionen),
- Betreuen und Ausbilden der Einsatztrupps des Forschungszentrums,
- Aus- und Weiterbildung der Einsatzleiter vom Dienst,
- Aktualisieren der Einsatzpläne und Pflege der einsatzspezifischen Software,
- Aktualisieren und Kontrollieren der Brandbekämpfungspläne.

Die EvD-Funktion wird von Sicherheitsingenieuren wahrgenommen. Der jeweils mit der EvD-Funktion beauftragte Sicherheitsingenieur hält sich während seiner Dienstzeit von 24 Stunden ständig auf dem Gelände des Forschungszentrums auf. Dabei ist sichergestellt, daß er jederzeit erreicht werden kann. Der EvD übernimmt im Alarmfall die Einsatzleitung. Der EvD ist verantwortlich für die Durchführung aller Maßnahmen, die bei drohender Gefahr, Personenschäden, Brandunfällen, Strahlenunfällen oder sonstigen Schadensfällen zur Hilfeleistung und zur Wiederherstellung der technischen Sicherheit ergriffen werden müssen.

2.4.2 Statistik und Analyse der EvD-Einsätze

1996 gingen in der Alarmzentrale des Forschungszentrums eine Vielzahl von Meldungen ein. Hiervon erforderten 190 Meldungen einen Einsatz des EvD, um die Wiederherstellung der technischen Sicherheit zu erreichen. In allen Fällen konnten die Einsatzkräfte des Forschungszentrums durch rasches und zielgerichtetes Handeln die Auswirkungen der Störungen auf ein Mindestmaß begrenzen. Tabelle 2/7 zeigt eine Aufschlüsselung der Einsätze.

Die Ursachen für die EvD-Einsätze waren im Schwerpunkt: Feueralarme 67 (davon 53 Fehlalarme), technische Hilfe 35, Wasserstörungen 32, sonstige Ereignisse 23, Gerätestörungen 17 und Sandfangalarme 16 (davon 4 Fehlalarme).

Einsatzschwerpunkt "Feueralarm": Hierzu zählen alle Einsätze, die im Zusammenhang mit der Alarmart "Feuer" ein Tätigwerden des EvD erforderlich gemacht haben, unabhängig davon, ob es tatsächlich gebrannt oder nur ein Fehlalarm vorgelegen hat. Die große Zahl der Fehlalarme ist darauf zurückzuführen, daß nahezu alle Gebäude und Anlagen 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.

Einsatzschwerpunkt "Technische Hilfe": Unter den Sammelbegriff "Technische Hilfe" fallen alle Maßnahmen, die zur Wiederherstellung der technischen Sicherheit dienen. Hierzu gehören insbesondere Hilfemaßnahmen bei der Behebung von technischen Störungen an Lüftungs-, Klima-, Heizungs-, Kühl-, Abwasser-, Überwachungs-, Warn- und Medienversorgungsanlagen, Experimentiereinrichtungen, Freisetzung von Chemikalien, Sturm- und Wasserschäden, Verkehrs- und Arbeitsunfälle.

Einsatzschwerpunkt "Wasserstörung": Hier wurden 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 Versuchsständen 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 Routinekontrollgängen durch Mitarbeiter des Werkschutzes bekannt. Die technischen Einsatzdienste, Rufbereitschaften, Werkfeuerwehr und der EvD garantieren eine qualifizierte Behebung der Störung.

Jahr	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Anzahl der Einsätze	177	235	210	183	223	190
Gesamteinsatzzeit in Stunden *	115	172	151	146	167	145
mittlere Einsatzdauer in Stunden	0,6	0,7	0,7	0,5	0,5	0,45
Anzahl der Einsätze während der Regelarbeitszeit	103	100	75	66	71	70
Anzahl der Einsätze außerhalb der normalen Arbeitszeit	74	135	135	117	152	120
Alarmübungen	9	10	8	8	8	9

* Bei der Gesamteinsatzzeit wurde nur die Zeit berücksichtigt, in der sich der EvD tatsächlich außerhalb seiner Diensträume befand; Zeiten für die Nachbereitung der Einsätze sind nicht enthalten.

Tab. 2/7: Einsätze der Einsatzleiter vom Dienst, 1991 bis 1996

2.4.3 Übungen der Einsatzdienste

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 Karlsruhe ständige Einsatzdienste, die im Bedarfsfall durch Einsatztrupps verstärkt werden können. Diese Einsatztrupps setzen sich wie folgt zusammen:

- Absperrtrupp 16 Personen,
- Strahlenmeßtrupp 10 Personen,
- Feuerwehrtrupp 21 Personen,
- Sanitätstrupp 12 Personen,
- Dekontaminationstrupp 5 Personen.

1996 wurden drei Alarmübungen durchgeführt. Daneben wirkten Einsatzleiter und Einsatzdienste des Zentrums an sechs Alarmübungen mit, die von der Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft, dem Institut für Transurane, dem Kerntechnischen Hilfsdienst und der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe durchgeführt wurden. Übungszwecke waren: Alarmierung, Kommunikation, Zusammenwirken der Einsatzkräfte, Menschenrettung unter

schwierigen Bedingungen, Versorgung der Verletzten, Umgang mit Gefahrstoffen, Strahlenschutz- und Meßaufgaben. Neben den ständigen Sicherheitsdiensten wurden auch die Einsatztrupps und das Betriebspersonal der betroffenen Institute in die Übungen mit einbezogen.

2.4.4 Meldepflichtige Ereignisse nach Strahlenschutzverordnung

Nach § 36 der Strahlenschutzverordnung ist der Eintritt eines Unfalles, eines Störfalles oder eines sonstigen sicherheitstechnisch bedeutsamen Ereignisses unverzüglich der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde anzuzeigen. Die Vorgehensweise zur Unterrichtung der atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden über Vorkommnisse im Forschungszentrum Karlsruhe sind in einer Melderegelung festgelegt. Im Jahre 1996 wurden den Aufsichtsbehörden vier sicherheitstechnisch bedeutsame Ereignisse der Meldestufe II gemeldet. Neun Vorkommnisse, die von besonderem Interesse für das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg als atomrechtliche Aufsichtsbehörde sein könnten, wurden als sogenannte Info-Meldungen übermittelt.

2.5 Betriebsbeauftragte im Umweltschutz

K. Dettmer, B. Mandl

Die Gruppe "Zentrale Beauftragte im Umweltschutz" setzt sich zusammen aus dem Gefahrgut- und Abfallbeauftragten und dem Gewässerschutz- und Immissionsschutzbeauftragten. Durch die organisatorische Einbindung der Gruppe in die Abteilung Arbeitsschutz und Sicherheit sind optimale Voraussetzungen dafür gegeben, daß die Betriebsbeauftragten ihre rechtlichen Anforderungen erfüllen und ihre Aufgaben wahrnehmen können. Diese umfassen im wesentlichen Überwachung und Kontrolle, Beratung, Information und Dokumentation. Durch das Ineinandergreifen der Rechtsgebiete, die sich aus den einzelnen Umweltbereichen ergeben, hat sich die Konzentration auf eine Arbeitsgruppe mit kurzen Informationswegen als vorteilhaft erwiesen. Zusätzlich zu den Beauftragtenfunktionen werden in der Gruppe Tätigkeiten zur Umsetzung der Gefahrstoffverordnung ausgeführt sowie die wiederkehrenden Prüfungen innerhalb des Zentrums überwacht.

2.5.1 Wiederkehrende Prüfungen

K. Dettmer

Um die technische Betriebssicherheit zu gewährleisten, müssen bestimmte Gegenstände, Anlagen und Anlagenteile in vorgegebenen Zeitintervallen Prüfungen unterzogen werden. Die wiederkehrenden Prüfungen sind durch Auflagen in Genehmigungen und in den Unfallverhütungsvorschriften festgelegt. Die Aufgabenverteilung und der Informationsfluß bei der Durchführung der wiederkehrenden Prüfungen sind in Abb. 2/3 dargestellt. Wiederkehrende Prüfungen sind in allen Organisationseinheiten des Zentrums durchzuführen. Durch ein einheitliches System der Terminüberwachung wird genaue Einhaltung der vorgeschriebenen Prüfintervalle gesichert und die Nachweisführung gegenüber den Behörden erleichtert. Zur Terminierung und Dokumentation der Prüfungen werden Prüfprotokolle erstellt und an die verantwortlichen Organisationseinheiten oder die prüfenden Fachabteilungen verschickt. Diese erhalten außerdem jährlich Prüflisten/Prüfkalender. Bei Bedarf werden monatlich Mahnlisten verschickt.

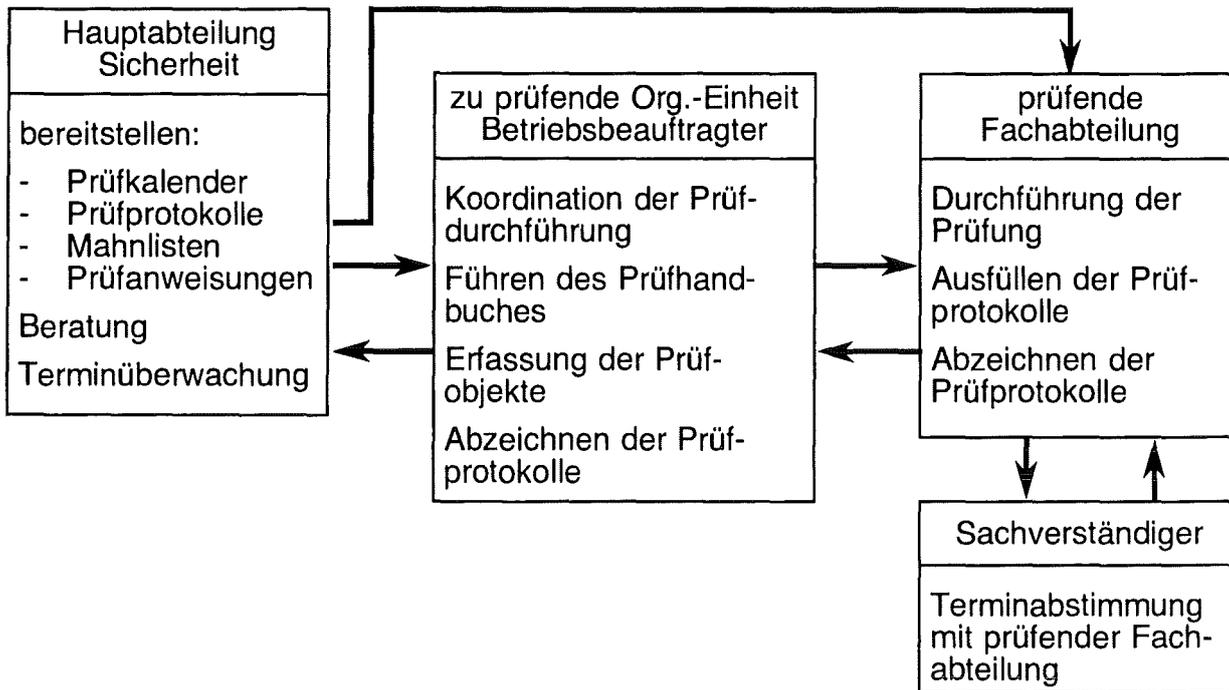


Abb. 2/3: Wiederkehrende Prüfungen, Aufgabenverteilung und Informationsfluß

Wesentlicher Bestandteil der Koordinations- und Dokumentationsarbeit ist die Eingabe von Terminen durchgeführter Prüfungen in ein IT-System und der Abgleich der vorhandenen Daten von Prüfobjekten. Letzterer findet beispielsweise mit Hilfe der Prüflisten statt, die durch Betriebsbeauftragte der Organisationseinheiten nach den aktuellen Gegebenheiten modifiziert werden. Eine Voraussetzung für das Mahnwesen ist, daß die tatsächlich vorhandenen Prüfobjekte genau im IT-System widerspiegelt werden und die Dokumentation mit den Organisationseinheiten vollständig abgestimmt ist. Dies erfordert eine fortlaufende Datenpflege und stellt einen weiteren wichtigen Teil der Tätigkeiten innerhalb der Abteilung dar.

Um die Gefahr von Fehlern und Datenverlusten zu reduzieren, besteht ein System, das die Betriebsbeauftragten des Zentrums in die Lage versetzt, über Netzwerk auf die ihrer Organisationseinheit zugehörigen Daten zuzugreifen, diese selbständig zu pflegen und die Terminerfassung eigenständig durchzuführen. Alle relevanten Informationen können von diesen Betriebsbeauftragten vor Ort eingesehen und ausgewertet werden.

Durch die Entwicklung einer Paßworthierarchie konnte gewährleistet werden, daß Betriebsbeauftragte ausschließlich und eindeutig auf die ihnen zugeordneten Datensätze zugreifen können. Es besteht außerdem die Möglichkeit, daß die Abteilung Instandhaltung im Bereich Technische Infrastruktur als prüfende Fachabteilung auf alle ihr im IT-System der Abteilung Arbeitsschutz und Sicherheit zugeordneten Objekte zugreifen und diese mit dem Wartungsplansystem abstimmen kann.

Auch im Berichtszeitraum hat sich die Kombination von zentraler Datenpflege für den überwiegenden Teil der Organisationseinheiten und dezentraler Datenpflege durch einen Teil der Betriebsbeauftragten gut bewährt und zu einer verbesserten Terminverfolgung bei den wiederkehrenden Prüfungen geführt.

2.5.2 Umsetzung der Gefahrstoffverordnung

K. Dettmer

In den letzten Jahren wurde durch eine Arbeitsgruppe, die sich aus Mitgliedern verschiedener Organisationseinheiten zusammensetzt, ein Konzept für die zentrumsweite Erfassung und Buchführung von Gefahrstoffen entwickelt. Das Konzept unterstützt die Umsetzung der Gefahrstoffverordnung. Es beinhaltet unter anderem die zentrale Aufnahme und Verteilung von Sicherheitsdatenblättern der Gefahrstoffe im Zentrum und die Führung des Gefahrstoffkatasters. Als wesentlicher Bestandteil des Konzepts wurde das IT-Programm "BestChemie" erstellt, das es ermöglicht, Gefahrstoffe und Chemikalien beginnend mit der Bestellung bis hin zum Verbrauch und zur Entsorgung elektronisch zu registrieren und die Stoffströme zu verfolgen. Alle Gefahrstoffe werden vom System im Rahmen der Bestellung erfaßt und die entsprechenden Beschaffungsanforderungen und Materialentnahmescheine für Lagerentnahmen elektronisch erzeugt.

Die Abb. 2/4 zeigt den Aufbau der bisherigen Netzwerkversion des Programms BestChemie. Neue Stoffe werden bei ihrer Bestellung zunächst in Dateien auf einem lokalen Server innerhalb einer Organisationseinheit aufgenommen und dann auf den zentralen Server übertragen. Dort läßt sich eine Bilanzierung der Stoffe unter sicherheitstechnischen Aspekten zentral für alle Gefahrstoffe in den Organisationseinheiten durchführen.

Bis zum Berichtsjahr wurde das Programm BestChemie bezüglich seiner Funktionalität und der Dateninhalte definiert und als Anwendungsprogramm realisiert. Das Programm beinhaltet ein komplexes File-Server-Konzept auf der Basis einer Datenbank unter dem Betriebssystem DOS. Im Rahmen einer in Berichtszeitraum durchgeführten Erprobung unter realen Bedingungen zeigte sich, daß aufgrund des Vernetzungskonzepts des Programmprototyps kein stabiles Systemverhalten zu erreichen ist. Außerdem wurde deutlich, daß voraussichtlich für die Pflege der technisch bedingt aufwendigen Softwareausführung erhebliche Ressourcen freigesetzt werden müßten.

Aus diesem Grund wurde die ursprünglich für den Berichtszeitraum geplante zentrumsweite Umsetzung des Konzepts an ein Redesign des Programms geknüpft. Dieses ist für das Folgejahr geplant. Das Redesign wird auf einer modernen, plattformunabhängigen Client-Server-Technologie aufsetzen, die mit höherer Verfügbarkeit und Transaktionssicherheit sowie mit verbesserten Bedienungsmöglichkeiten die Voraussetzungen für einen reibungslosen zentrumsweiten Einsatz schaffen wird.

Unabhängig davon wurde mit Hilfe einer neu eingerichteten Personalstelle im Berichtszeitraum mit der kompletten Überarbeitung der Sicherheitsdatenblätter der im Zentrum vorhandenen Stoffe begonnen. Die entsprechende Datenbank, deren Inhalt sich aus zahlreichen Erkenntnisquellen speist, wurde neben den kommerziell erhältlichen Datenbanken an zentraler Stelle zur Verfügung gestellt und kann zur allgemeinen Information über Gefahrstoffe und zur Erstellung von gefahrstoff- und arbeitsplatzbezogenen Betriebsanweisungen herangezogen werden. Im Rahmen des Konzeptes werden ausgewählte Inhalte der Datenbank dem Anwender von Gefahrstoffen bereits bei der Bestellung eines Stoffes automatisch zu Verfügung gestellt, so daß dieser sich vorab mit den zu erwartenden Gefahren beim Umgang mit dem Stoff auseinandersetzen und gegebenenfalls Ersatzstoffe auswählen kann.

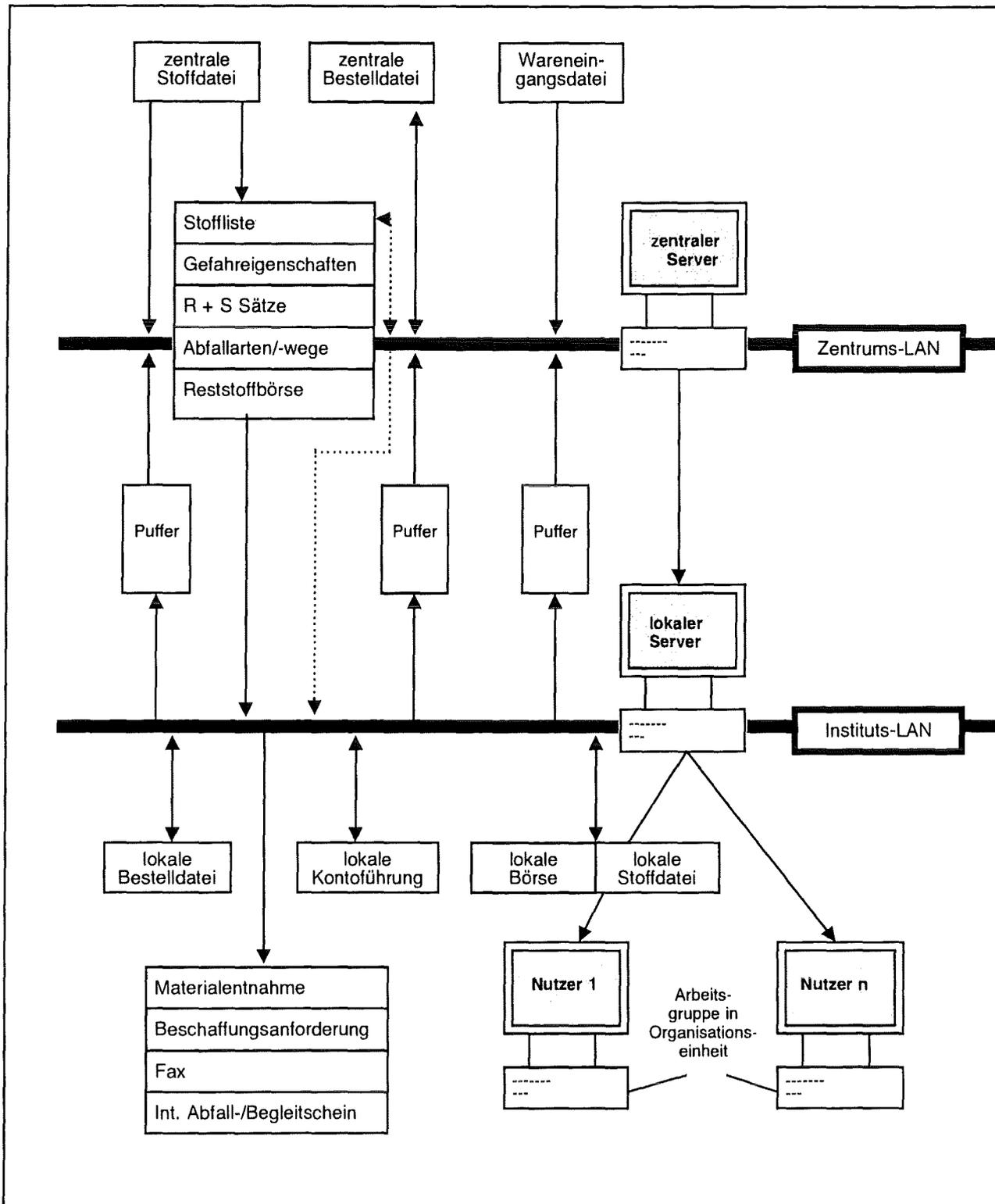


Abb. 2/4: Netzwerkversion des Gefahrstofferrfassungsprogramms Best-Chemie

2.5.3 Gefahrguttransporte und Gefahrgutumschlag

B. Mandl

Der Gesetzgeber hat auch im vergangenen Jahr weitere Änderungen bei den Vorschriften zum Gefahrguttransport vorgenommen. Von Bedeutung sind hierbei insbesondere die Neufassung der Durchführungsrichtlinie zur GGVE, die nationale und internationale Änderung der Gefahrgutausnahmen sowie die Verkündung der Neufassung der GGVS und GGVE sowie der zugehörigen Regelungen zum internationalen Transport gefährlicher Güter (ADR, RID). Deren bedeutendstes Änderungsziel war die Abschaffung nationaler Regelungen (die Anlagen zur GGVS/GGVE) und die Durchführung nationaler und internationaler Transporte nach den einheitlichen Regelungen des ADR und RID. Diese treten zum 01.01.1997 in Kraft.

Alle Änderungen erfordern erhebliche Umstellungen bei der Abwicklung von Gefahrguttransporten die das Forschungszentrum verlassen. Dies betrifft insbesondere die Erstellung der Beförderungspapiere, die Zuordnung von Gefahrgütern, die Kennzeichnung und Bezeichnung der Verpackungen, Großpackmittel, Container und Fahrzeuge sowie die Bereitstellung der Unfallmerkmale sowohl für den konventionellen als auch für den Bereich des Transports radioaktiver Stoffe.

Die Gefahrguttransporte des Forschungszentrums lassen sich in zwei Bereiche unterteilen. Dies sind zum einen die Transporte radioaktiver Gefahrgüter der Klasse 7 und zum anderen die Transporte sonstiger konventioneller Gefahrgüter. Die GGVS gibt zwar für beide Bereiche im wesentlichen die gleiche Struktur vor, inhaltlich weichen sie jedoch grundlegend voneinander ab. Die Abwicklung von Gefahrguttransporten wurde in beiden Bereichen in den vergangenen Jahren bei einigen wenigen Organisationseinheiten bzw. Abteilungen konzentriert.

Im Bereich des Transports radioaktiver Gefahrgüter der Klasse 7 ist die Abwicklung ausgehender Transporte beschränkt auf

- die Transport- und Isotopenleitstelle der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe,
- die Hauptabteilung Zyklotron für den Transport ausgehender Präparate für die nuklearmedizinische Diagnostik und aktivierter Maschinenteile

Alle anderen Organisationseinheiten, die radioaktive Gefahrgüter versenden wollen, müssen dies über die Transport- und Isotopenleitstelle der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe durchführen.

Für die externen Transporte werden Transportunternehmen mit entsprechender Genehmigung beauftragt. Insgesamt wurden von HDB ca. 300 An- und Abtransporte über die Verkehrsträger Straße, Schiene und Luft abgewickelt. Von der Hauptabteilung Zyklotron wurden mehr als 1 500 Transporte von Isotopen oder radioaktiven Maschinenteilen durchgeführt. Der Transport findet praktisch ausschließlich auf der Straße mit Pkw oder Kleintransportern statt. In einigen Fällen wird im Anschluß an den Straßentransport per Luftfracht ins Ausland weitertransportiert. Im Berichtszeitraum wurde für den Transport radioaktiver Stoffe innerhalb des Zentrums die neue, vom Umweltministerium genehmigte Transportordnung für den internen Transport radioaktiver Stoffe bekanntgemacht.

Im Bereich des Transports konventioneller Gefahrgüter findet der Hauptumschlag von Gefahrgütern über die Hauptabteilung Einkauf- und Materialwirtschaft und die Abfallwirtschaftszentrale des Forschungszentrums statt. Dabei gehen über EKM/MW im wesentlichen die Gefahrgüter ein und verlassen das Zentrum entweder als Abwasser oder als Abfall.

Gefahrgüter werden über den Wareneingang beim Chemikalien- und Gaslager empfangen. Von hier aus werden die Güter ausschließlich in Originalverpackungen und zuge-

lassen. Druckgasflaschen unterschiedlicher Größe innerbetrieblich weitertransportiert und verteilt. Eingehende Tanktransporte fahren direkt die Entladestation bei den Organisationseinheiten an. Die Ausgabe von Feinchemikalien beim Chemikalienlager erfolgt nur, wenn der Abholer einen speziell für den innerbetrieblichen Transport einzelner Chemikalienflaschen hierzu vorgesehenen Behälter verwendet. Dieser kann über das Hauptlager bezogen werden. Nach Nutzung oder Verbrauch fallen in der Regel alle eingebrachten Güter als Abfall oder als Abwasser an. Lediglich ein geringer Teil wird zur direkten Weiterverwendung über das Gerätelager weiter veräußert oder kostenfrei abgegeben.

Im Jahr 1996 wurden mehr als 400 Gefahrguttransporte abgewickelt. Dabei lag der Schwerpunkt bei An- und Abtransporten von Flüssiggasen in Tankfahrzeugen sowie die Anlieferung und Rückgabe von Druckgasflaschen. Über die Abfallwirtschaftszentrale wurden ca. 50 Abtransporte von Abfällen als Gefahrgüter durchgeführt.

Die Änderungen im Gefahrgutrecht äußern sich bei den konventionellen Transporten am deutlichsten. Sie betreffen insbesondere die Zuordnung zu einer Gefahrenklasse (Klasse, Ziffer, Ziffernbuchstabe geben das Gefahrenpotential wieder), die Erstellung der Beförderungspapiere und die Wahrnehmung der Pflichten der am Gefahrguttransport Beteiligten.

Damit die neuen Vorschriften zeitnah umgesetzt werden konnten, war eine intensive und ins Detail gehende Information und Beratung der beauftragten Personen und der mit der Abwicklung beteiligten sonstigen Personen erforderlich. Im Vordergrund standen hierbei die Überarbeitung der Beförderungspapiere, der Verladeprotokolle, Checklisten und der operativen Tätigkeiten zur Kontrolle beim Verladen. Der Schwerpunkt bei der Überwachung und Kontrolle wurde ebenfalls auf diese Abläufe und Tätigkeiten gelegt.

Es kam zu keinen Unfällen oder Zwischenfällen, bei denen Personen oder Güter beim Gefahrgutumschlag zu Schaden kamen. Gravierende Mängel, die zu Beanstandungen führten, gab es insbesondere bei eingehenden Transporten radioaktiver Stoffe. Diese wurden in Zusammenarbeit mit den Transport- und Lieferfirmen abgeklärt. Darüber hinaus wurden vereinzelt Mängel festgestellt, die insbesondere auf unzureichende Kenntnisse der Vorschriftenlage zurückzuführen waren. Die gegenwärtig permanenten Änderungen der Regelungen zum Gefahrguttransport erfordern auch weiterhin eine intensive Informationstätigkeit bei allen am Gefahrgutumschlag beteiligten Mitarbeitern. Eine wesentliche Erleichterung für den Versand radioaktiver Stoffe stellt hierbei die Konzentration der Tätigkeiten zum Gefahrguttransport bei der Transport- und Isotopenleitstelle der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe dar.

2.5.4 Abfallwirtschaft

B. Mandl

Im Jahr 1996 standen umfangreiche Änderungen und Neuregelungen an, die durch das Inkrafttreten des neuen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes zum 06.10.1996 und seinem untergeordneten Regelwerk als neue externe Vorgaben eingeführt wurden. Um diesen entsprechend Rechnung tragen zu können wurde bereits 1995 die Abfallwirtschaft des Forschungszentrums neu organisiert. Alle Aufgaben zur Entsorgung wurden auf die Abfallwirtschaftszentrale übertragen. Das Entsorgungskonzept sieht vor, nicht nur die verwaltungstechnische Abwicklung der Entsorgung, sondern auch die Durchführung generell aller Entsorgungstätigkeiten von dieser ausführen zu lassen. Ausnahmen hiervon dürfen nur in Absprache mit dem Abfallbeauftragten erfolgen. Die Baustellenordnung und die internen Regelungen zur Abfallwirtschaft wurden diesbezüglich überarbeitet und verteilt.

Eine direkte Vergabe und Durchführung von Entsorgungsdienstleistungen der Organisationseinheiten, ohne Absprache mit dem Abfallbeauftragten und Abwicklung über die Abfallwirtschaftszentrale, ist nicht gestattet (Abb. 2/5, Nr. 3). Die Leiter der Organisationseinheiten des Forschungszentrums sind als Linienverantwortliche zuständig dafür, daß ihre Mitarbeiter über die Regelungen zur Abfallwirtschaft informiert werden, die Regelungen für sie zugänglich sind und eingehalten werden.

Wesentliche Ziele, die mit der Umsetzung des Entsorgungskonzepts erreicht werden sollten, waren:

- Einrichtung einer zentralen innerbetrieblichen Anlaufstelle (Abfallwirtschaftszentrale) mit entsprechendem Fachpersonal;
- Entlastung aller Mitarbeiter außerhalb der Abfallwirtschaftszentrale von der Durchführung operativer Tätigkeiten zu Entsorgungsvorgängen und damit Freistellung von den rechtlichen Anforderungen, Pflichten und Konsequenzen;
- Minimierung der Auswirkung durch Änderungen externer Vorgaben;
- einfacher und einheitlicher innerbetrieblicher Entsorgungsweg mit minimalem verwaltungstechnischem Aufwand;
- Optimierung der Datenerfassung zur Bilanzierung, Kostenerfassung und Zuordnung.

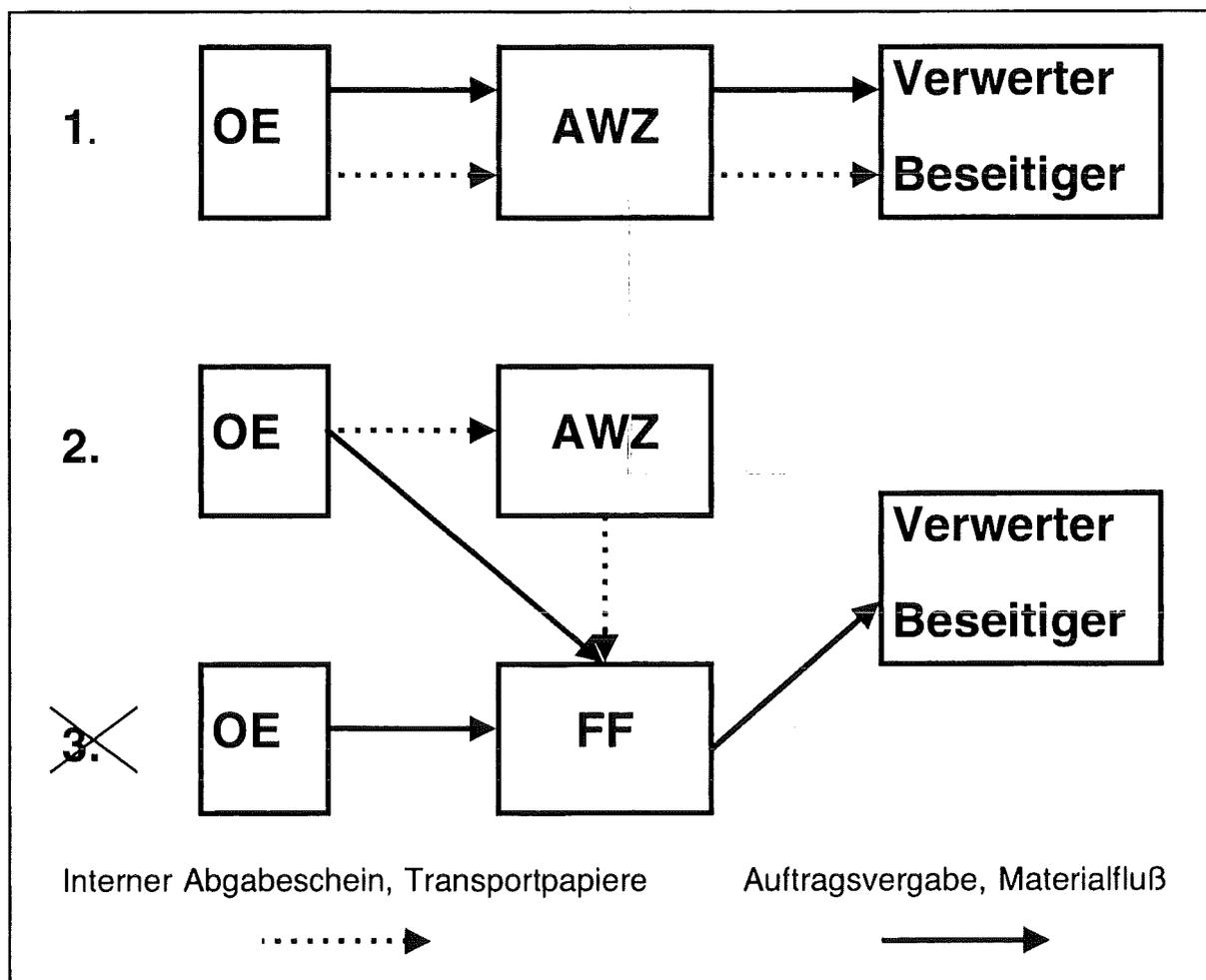


Abb. 2/5: Abgabe von Abfällen und Durchführung von Entsorgungsmaßnahmen

Diese Ziele konnten bisher weitgehend erreicht werden. Eine umfassende Prüfung der Organisation und Kosten der betrieblichen Abfallentsorgung durch die Innenrevision bestätigte dies. Insbesondere durch die Neuorganisation wurden in den vergangenen zwei

Jahren die Kosten für die Abfallentsorgung um ca. 30 % verringert. Allgemein konnte festgestellt werden, daß durch die zentrale Abwicklung der Entsorgungsmaßnahmen durch die Abfallwirtschaftszentrale die innerbetrieblichen Abläufe vereinfacht und die Mitarbeiter entlastet wurden. Darüber hinaus konnte die Überwachung und Kontrolle des Weges der Abfälle von ihrer Entstehung bis zu ihrer externen Entsorgung dadurch ebenfalls verbessert werden. Es kam zu deutlich weniger Beanstandungen.

Auch bei der Abfallwirtschaftszentrale waren eine deutliche Verbesserung bei den Tätigkeiten zur Entsorgung und weniger Mängel festzustellen. Dies ist auch auf eine intensive Informationsvermittlung und Hinwirkung auf Verbesserung zurückzuführen. Dies führte zu einem besseren Verständnis, erhöhter Sensibilität und Sicherheit bei der Ausführung der Tätigkeiten. In diesem Zusammenhang hat sich die Zusammenarbeit mit einer Entsorgungsfirma für bestimmte Entsorgungstätigkeiten und einem damit gekoppelten Abnahmevertrag in den Punkten Zuverlässigkeit, ordnungsgemäße Abwicklung und Gewährleistung von Entsorgungssicherheit bewährt.

Abfall-/Reststoffart	Abfall-schlüssel-Nr.	Menge
Mineralfaserabfälle	31416	65,62 t
Asbestabfälle	31436	44,04 t
Eisenmetallbehältnisse m. schäd. Restinhalten	35106	1,01 t
Ölfilter	35107	0,90 t
Entwickler	52723	1,07 t
sonstige Konzentrate und Halbkonzentrate	52725	7,86 t
Lösemittelgemische, halogenhaltig	55220	1,45 t
lösemittelhaltige Schlämme, halogenfrei	55402	0,51 t
Kunststoffbehältnisse m. schäd. Restinhalten	57127	2,35 t
Laborchemikalienreste, organisch	59302	0,22 t
Laborchemikalienreste, anorganisch	59303	0,13 t
mit Chemikalien verunreinigte Betriebsmittel	59304	4,69 t
Gase in Stahldruckflaschen	59802	0,37 t
Hausmüll	91101	316,48 t
Baustellenabfälle	91206	440,43 t
PCB-haltige Erzeugnisse und Betriebsmittel	54110	17,00 t
Altlacke, Altfarben nicht ausgehärtet	55512	0,52 t
wässrige Lösungen, Pumpensumpf	52725	0,58 t
lösemittelhaltige Schlämme, halogenfrei	55401	0,31 t

Tab. 2/8: Abfälle zur Beseitigung 1996

Abfall-/Reststoffart	Abfall- schlüssel- Nr.	Menge
Aktivkohle	-	18,52 t
Altbatterien	-	2,00 t
Altglas	-	22,20 t
Altpapier	-	271,10 t
Aluminium	-	1,73 t
Bauschutt	-	23 508,42 t
Bauschutt und Erdaushub mit schädlichen Verunreinigungen	31441	24,43 t
Bildschirme	-	671 Stück
Blei	-	26,83 t
Bohr- und Schleifölemulsionen, Emulsionen	54402	7,21 t
Datenschutzpapier	-	83,62 t
Eisenschrott	-	2 219,64 t
Elektronikschrott	-	80,61 t
Ethylenglykole	55303	3,28 t
Faulschlamm	94502	192,70 t
FCKW, Kälte-, Treib- und Lösemittel	55205	2,36 t
feste fett- und ölverschmutzte Betriebsmittel	54209	5,68 t
Filmabfall	-	1,21 t
Fixierbäder	52707	0,67 t
Gras- und Sträucherabfälle	-	1,32 t
Gras- und Sträucherabfälle (Eigenverwertung)	-	200 m ³
Holzabfälle	-	179,36 t
Holzabfälle mit schädlichen Verunreinigungen	17213	7,74 t
Inhalt von Fettabscheidern	12501	39,36 t
Kabelabfälle	-	109,93 t
Kesselschlacke	31307	31,56 t
Küchen- und Kantinenabfälle	91202	28,06 t
Kühlschränke	-	35 Stück
Kunststoffe, Kunststoffteile	-	40,46 t
Lösemittelgemische, halogenfrei	55370	1,82 t
Magnetbänder	-	3,72 t
Motoren- und Getriebeöle	54112	19,62 t
Natrium-Kaliumlegierung	-	0,20 t
Öl- und Benzinabscheiderinhalte	54702	100,20 t
Quecksilber, quecksilberhaltige Rückstände, Leuchtstoffröhren	35326	4,17 t
Sägespäne	-	4,18 t
Sondermetalle	-	0,07 t
Sonstige NE-metallhaltige Abfälle	35315	3,89 t
Sonstige Öl-Wasser-Gemische	54408	3,00 t
Styroporabfall	-	702,50 t
Tonerkartuschen	-	1,22 t
Trafo-, Wärmeträger-, Hydrauliköle, PCB-frei	54106	2,88 t
Wertstoffe aus Gewerbeabfällen	-	78,51 t

Tab. 2/9: Abfälle zur Verwertung 1996

2.5.5 Immissionsschutz

K. Dettmer

Die Rechte und Pflichten des Immissionsschutzbeauftragten lassen sich aus dem Bundesimmissionsschutzgesetz ableiten und wie folgt zusammenfassen:

- Überwachung der Einhaltung der Vorschriften des Bundesimmissionsschutzgesetzes und der angegliederten Rechtsgebiete;
- Hinwirkung auf die Entwicklung und Einführung umweltfreundlicher Verfahren;
- Mitwirkung bei der Entwicklung und Einführung umweltfreundlicher Verfahren sowie bei Genehmigungsverfahren und
- Beratung des Betreibers und der Betriebsangehörigen über die von einer Anlage verursachten schädlichen Umwelteinwirkungen sowie über Einrichtungen und Maßnahmen zu ihrer Verhinderung.

Aus der Sicht des Immissionsschutzes haben die genehmigungsbedürftigen Anlagen des Zentrums die höchste Priorität. Im Berichtszeitraum wurden fünf entsprechende Anlagen, teilweise in mehrere Systeme untergliedert, betrieben. Es handelt sich dabei um das Abfallager, die Verbrennungsanlagen der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebs, die Verbrennungsanlage TAMARA des Instituts für Technische Chemie, das Fernheizwerk und das Dampfkesselhaus. Für die drei erstgenannten Anlagen fordert der Gesetzgeber die Bestellung eines Immissionsschutzbeauftragten. Die Tabelle 2/10 zeigt den im Berichtszeitraum vorliegenden Genehmigungsstatus der Anlagen.

Anlage	Immissionsschutzbeauftragter zu bestellen gemäß Anhang zur 12. BImSchV	immissionsschutzrechtliche Anzeige/Genehmigung
Abfallager	Ziffer 44	Anzeige nach § 67 BImSchG
Verbrennungsanlagen der HDB	Ziffer 38	Genehmigung nach §§ 4 ff BImSchG
Verbrennungsanlage TAMARA	Ziffer 38	Genehmigung nach §§ 4 ff BImSchG
Fernheizwerk		Änderungsgenehmigung nach § 15 BImSchG
Blockheizkraftwerk		Änderungsgenehmigung nach § 15 BImSchG
Dampfkesselhaus		Änderungsgenehmigung nach § 15 BImSchG

Tab. 2/10: Nach Bundesimmissionsschutzgesetz genehmigte Anlagen auf dem Gelände des Forschungszentrums

Die Verbrennungsanlage der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe besteht aus drei Teilsystemen:

- Schachtofenanlage zur Verbrennung von festen, alpha-kontaminierten Reststoffen;
- Schachtofenanlage zur Verbrennung von festen, beta-kontaminierten Reststoffen und
- Lösungsmittelverbrennungsanlage.

Den Anlagen ist ein immissionsschutzrechtlich genehmigtes Propangaslager zugeordnet.

Im Berichtszeitraum wurden erhebliche Umbaumaßnahmen an den Anlagen durchgeführt und mit dem Rückbau der Lösemittelverbrennungsanlage begonnen. Ziel der Arbeiten ist es, die Forderungen der 17. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes in der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe dergestalt umzusetzen, daß mit dem Jahr 1997 nur noch die Alpha-Anlage als einzige der bisher drei Verbrennungsanlagen in Betrieb bleibt und dann vollständig entsprechend dem Stand der Technik nachgerüstet ist.

Als wesentliche Elemente der Umbaumaßnahmen gelten die Erneuerung der Auskleidung des Schachtofens, der Einbau einer neuen Nachbrennkammer, die Installation eines Mehrstoffbrenners und der Einbau eines Mehrwegsorptionsfilters mit Aktivkoks zur Rückhaltung von Dioxinen/Furanen und anderen organischen Bestandteilen im Rauchgasstrom. Außerdem sind die Eindüsung von Harnstoff zur Reduktion der NO_x-Emissionen und der Einbau eines Wirbelschichttrockners vorgesehen. Eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung für den Umbau wurde im Berichtszeitraum erteilt.

In der Entwicklung und Planung befindet sich die Versuchsanlage zur Verbrennung von Sonderabfällen, THERESA, die im Berichtszeitraum immissionsschutzrechtlich genehmigt wurde.

Die Umrüstung auf vollautomatischen 72-Stunden-Betrieb der Anlagen des Fernheizwerks wurde im Berichtszeitraum weitgehend abgeschlossen und die entsprechenden Abnahmen vorgenommen.

Zur Erfüllung der gesetzlich vorgeschriebenen Kontrollpflichten wurden, kombiniert mit den Kontrollgängen für den Gewässerschutz, regelmäßige Begehungen der genehmigungsbedürftigen Anlagen durchgeführt. Es wurden Informationen über durchgeführte Änderungen an den Anlagen und aktuelle Erfahrungen bei deren Betrieb ausgetauscht. Als Grundlage für die Kontrollen wurden die Genehmigungen, die Auflagen und die vorhandenen gutachterlichen Überwachungsprotokolle verwendet. Die gesetzlichen Regelungen, behördlichen Auflagen und Überwachungseinrichtungen machen eine unkontrollierte Überschreitung von Grenzwerten, die Manipulation von Meßwerterfassungseinrichtungen nahezu unmöglich, so daß hier die betreiber- und behördenseitige Überwachung bereits einen wesentlichen Anteil zur Einhaltung der Vorschriften und Auflagen beiträgt.

2.5.6 Gewässerschutz

K. Dettmer

Dem Gewässerschutzbeauftragten obliegt die Wahrnehmung aller Rechte und Pflichten gemäß dem Wasserhaushaltsgesetz, dem Wassergesetz für Baden-Württemberg, der Eigenkontrollverordnung, anderen Rechtsvorschriften und der wasserrechtlichen Erlaubnis und Genehmigung des Zentrums. Die Aufgaben des Betriebsbeauftragten ergeben sich aus dem Wasserhaushaltsgesetz und lassen sich im wesentlichen einteilen in:

- Überwachung der Einhaltung von Vorschriften, behördlichen Anordnungen, Bedingungen und Auflagen, Kontrolle der Abwasseranlagen und des Abwassers,

- Hinwirkung auf die Entwicklung und Einführung von innerbetrieblichen Verfahren zur Vermeidung oder Verminderung des Abwasseranfalls,
- Aufklärung und Beratung der Betriebsangehörigen über die im Betrieb verursachten Gewässerbelastungen und möglicher Gewässergefährdungen sowie über die Einrichtungen und Maßnahmen zu ihrer Verhinderung unter Berücksichtigung der wasserrechtlichen Vorschriften.

Die skizzierten Tätigkeiten lassen sich formal auf die Teilbereiche Abwasser und Umgang mit wassergefährdenden Stoffen abbilden. Die konkrete Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben und die Anwendung auf die vorhandene Infrastruktur im Berichtszeitraum läßt sich wie folgt zusammenfassen:

Abwasser

- Überwachung von Prüfungen und Wartungs- und Reinigungsarbeiten an den Abwassernetzen: Im Berichtszeitraum wurde mit dem Freispülen und der optischen Kontrolle und Dokumentation des Regenwassernetzes fortgefahren sowie die jährlich vorgeschriebene Reinigung des Schmutzwassernetzes durchgeführt.
- Überprüfung von Bau- und Regenentwässerungsgesuchen: Es fanden Überprüfungen/Beteiligungen an der Planung von Umbaumaßnahmen an den Wassernetzen, den Hebestationen und an den Kläranlagen statt sowie baubegleitende Maßnahmen und Beprobungen im Rahmen des Abrisses der alten Eingangsstufen des Chemie-I-Klärwerks. Außerdem wurden Chemie-II-Abwassersammelstationen zu Chemie-I-Abwasserhebeanlagen umgewidmet.
- Einleitung von Abwasser aus Betriebsanlagen: Es wurde Betriebsabwasser hinsichtlich der Verwertbarkeit in der Kläranlage bewertet und geplante Anlagen hinsichtlich der Einhaltung von Grenzwerten, Abgabemengen usw. beurteilt.
- Kontrolle/Überwachung/Beratung: Regelmäßige Kontrollgänge, Kontrolle des Betriebs der Kläranlage und monatliche Gegenzeichnung des Betriebshandbuchs, das gemäß Eigenkontrollverordnung erstellt wird. Kontrolle von Analysen, Abwasserfreigaben und Wartungsarbeiten.
- Beteiligung an Bauvorhaben und Investitionsentscheidungen: Der Antrag für die Wiedererlangung der wasserrechtlichen Erlaubnis wurde im Berichtszeitraum gestellt. Gemeinsam mit den Betriebsabteilungen wurden Behördengespräche über die Randbedingungen des Antrags durchgeführt.
- Die beiden Kläranlagen des Zentrums, die Anlage für häusliches Schmutzwasser und die Anlage für Abwasser aus Werkstätten, Labors und technischen Bereichen arbeiteten im vergangenen Jahr problemlos. Alle Ableitungsgrenzwerte konnten ohne Schwierigkeiten eingehalten werden. Es fand eine geringfügige Reduktion der Abwassermenge im Vergleich zum Vorjahr statt.

Wassergefährdende Stoffe

- Im Berichtszeitraum fanden sowohl Überwachungen als auch Planungen von Anlagen zur Lagerung, zum Abfüllen, zum Umschlagen wassergefährdender Stoffe sowie zu deren Verwendung statt. Es wurden regelmäßige Begehungen von Anlagen durchgeführt und Baugesuche und Baugenehmigungen im Hinblick auf den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen überprüft. Im Rahmen einer Erhebung von Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen im Zentrum wurde eine Datenbank entwickelt, mit deren Hilfe die Gesetzeskonformität aller Anlagen des Zentrums in diesem Bereich überwacht werden kann. Die Datenbank wird außerdem eingesetzt, um der gesetzlichen Forderung nach einem Anlagenkataster für Anlagen einer bestimmten Größenordnung fristgerecht bis zum Ende des Jahres 1997 nachzukommen. Weiterhin wurden im Berichtszeitraum Schutzmaßnahmen für Altanlagen geplant und durchgeführt sowie Bau- und Stilllegungsmaßnahmen

überwacht und die Betriebsbeauftragten innerhalb der einzelnen Organisationseinheiten über gesetzliche Vorgaben informiert.

Information und Dokumentation

- Die Dokumentation erfolgt unter anderem durch Begehungsprotokolle, Monats- und Jahresberichte. Im Berichtszeitraum wurde der Abwasserordner, eine Informationssammlung über die wasserrechtlichen Belange des Zentrums, komplett neu gefaßt und an die Betriebsbeauftragten in den Organisationseinheiten und an die für Baumaßnahmen verantwortlichen Personen ausgegeben.

2.6 Kontrollstelle WAK

K.-D. Gosslar

2.6.1 Zielsetzung der Kontrollstelle

Um seiner Verantwortung bei der Stilllegung der Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe gerecht zu werden, hat das Forschungszentrum Karlsruhe als Eigentümer und Genehmigungsmitinhaber eine Kontrollstelle eingerichtet, die eine überwachende Funktion für spezifische Strahlenschutz- und Sicherheitsaufgaben für den Bereich der Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe ausübt. Schwerpunktmäßige Prüfungen haben zum Ziel, Mängel aufzuzeigen und Maßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung der Anlagensicherheit vorzuschlagen.

2.6.2 Aufgaben der Kontrollstelle

Die Aufgabe der Kontrollstelle besteht in der Durchführung stichprobenartiger Kontrollen der WAK-Maßnahmen zur Einhaltung der Auflagen aus Genehmigungsbescheiden, Verordnungen und Gesetzen sowie zur Gewährleistung eines sicheren Anlagenbetriebs. Dies betrifft in Anpassung an den Anlagenbetrieb die Überprüfung

- der Einhaltung der im Betriebshandbuch beschriebenen Vorgaben bezüglich der Beachtung von Sicherheitsaspekten und Auflagen und der Durchführung von Belehrungen von Eigen- und Fremdpersonal;
- der physikalischen Strahlenschutzüberwachung sowie der Durchführung ärztlicher Untersuchungen gemäß Strahlenschutzverordnung;
- der Emissionsüberwachung;
- der Durchführung von wiederkehrenden Prüfungen an sicherheitstechnisch wichtigen Systemen;
- der Buchführung und Bestandsprüfung von Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen;
- der Deklaration von radioaktiven Reststoffen und Abfällen sowie die Einhaltung der Annahmebedingungen der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe unter Berücksichtigung einschlägiger Regelwerke.

2.6.3 Planung, Vorbereitung und Durchführung der Kontrollen

Die Kontrollen werden, soweit möglich, vierteljährlich vorausgeplant, wobei Prüfgegenstände und -umfänge festgelegt werden. Aufgrund spezieller Ereignisabläufe können besondere, nicht in der Planung berücksichtigte und durchzuführende Kontrollmaßnahmen

notwendig werden. Spezielle, der Vorbereitung dienende Unterlagen, werden auf Anforderung von der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe der Kontrollstelle zur Verfügung gestellt. Hierzu zählen:

- Strahlenschutzaufzeichnungen,
- Dosisregister, Aufzeichnungen der Ergebnisse von Inkorporationsmessungen und der strahlenschutzärztlichen Befunde,
- Auszüge aus der Buchhaltung von Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen,
- Protokolle betriebsinterner Aufzeichnungen,
- meldepflichtige Ereignisse.

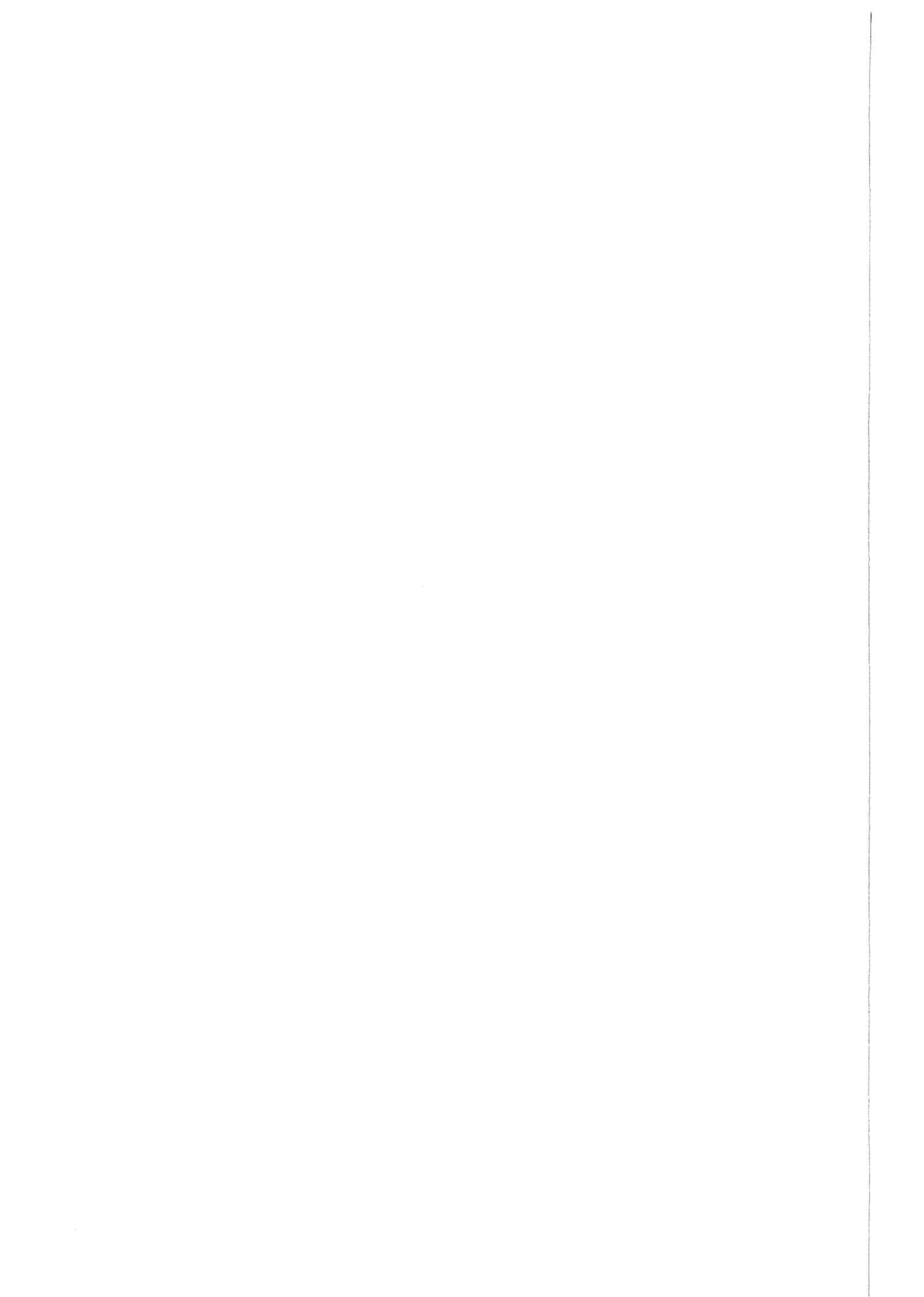
2.6.4 Durchgeführte Kontrollen

Die Kontrollmaßnahmen und stichprobenartigen Prüfungen wurden im Berichtszeitraum fortgesetzt. Gegenstand der Auditierung bildeten folgende Themen:

- Maßnahmen zur Strahlenschutzüberwachung bei Stilllegung,
- Zugangsregelung,
- Brandschutz.

Defizite hinsichtlich der Einhaltung geltender Richtlinien, Vorschriften und Maßnahmen und der praktischen Umsetzung wurden nicht festgestellt.

Einen zusätzlichen Auditierungspunkt bildete die Untersuchung der Einbindung der Wiederaufarbeitungsanlage in die Sicherheitsorganisation des Forschungszentrums. Hierbei ging es um die Aufnahme des Status der gemäß bestehender Verträge zwischen Forschungszentrum und Wiederaufarbeitungsanlage existierenden Verpflichtungen über das Erbringen von Versorgungs-, Entsorgungs- und Dienstleistungen und die Einbindung der Wiederaufarbeitungsanlage in die Sicherheitsorganisation des Forschungszentrums.



3 Meßstelle

3.1 Amtliche Personendosimetrie

S. Ugi

Die für die Personendosisüberwachung in Baden-Württemberg Ende 1984 eingerichtete amtliche Meßstelle für Festkörperdosimeter ist eine von sechs eigenständigen amtlichen Meßstellen in Deutschland. Nach der Eichordnung vom 12. August 1988 müssen von den nach Landesrecht zuständigen Meßstellen Dosimeter eingesetzt werden, für die sowohl eine Zustimmung durch die Länderausschüsse Atomkernenergie bzw. Röntgenverordnung als auch eine Bauartzulassung vorliegt. Anstelle einer Eichung nehmen die Meßstellen einmal jährlich an den Vergleichsmessungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt teil.

Amtliches Personendosimeter dieser Meßstelle ist seit 1993 das Photolumineszenz-Phosphatglasdosimeter in der Ausführung als Flachglasdosimeter. Nach einer erfolgreichen Erprobung erhielt der Hersteller des Flachglasdosimeters eine allgemein gültige Bauartzulassung und von den Länderausschüssen die Zustimmung zur Messung der Personendosis nach StrlSchV und RöV. Unter der Bezeichnung KfK-PGD FGD-10 & SC-1 (PTB-Zulassungsnummer 6.21-PD-92.05 und 6.21-OD-92.06) wird es zur Personen- und Ortsdosimetrie für Photonenstrahlung im Energiebereich oberhalb 25 keV eingesetzt. Zu den besonderen Vorzügen dieses Dosimeters zählen die höhere Empfindlichkeit, die Langzeitstabilität der Meßwertspeicherung und die gute Reproduzierbarkeit der Dosismessung bis in den Dosisbereich von 0,1 mSv. Im Hinblick auf die ab 1995 eingeführte neue Meßgröße Hp(10) kann das Flachglasdosimeter, im Gegensatz zu den anderen Personendosimetern, ohne Änderung der Dosimeterkapselung bzw. des Auswerteverfahrens weiterhin eingesetzt werden.

Als zweites amtliches Dosimeter wird mit der Bezeichnung KfK-TLD-TD2 (PTB-Zulassungsnummer 6.21-PD-93.10) ein Thermolumineszenzdosimeter für die Teilkörperdosimetrie ausgegeben. Das Dosimeter besteht aus einem TLD-700-Detektor in einem Edelstahl-Fingerring hinter einer Abdeckung von 15 mg/cm². Meßgröße ist die Photonenäquivalentdosis.

Als drittes amtliches Dosimeter wird ein vom uns entwickeltes universelles Albedoneutronendosimeter eingesetzt, dessen bundesweiter Einführung vom Länderausschuß für Atomkernenergie 1986 zugestimmt wurde. Das Neutronendosimeter unter der Bezeichnung KfK-TLD-GD2 (PTB-Zulassungsnummer 6.21-PD-93.09) mit TLD-600 (⁶LiF:Mg,Ti)- und TLD-700 (⁷LiF:Mg,Ti)-Thermolumineszenzdetektoren dient zur Personenüberwachung in Neutronen-Gamma-Mischstrahlungsfeldern. Für spezielle Überwachungsaufgaben können die Albedodosimeter auch mit gammastrahlungsunempfindlichen Kernspurätzdetektoren sowohl anstelle der Thermolumineszenzdetektoren als auch zum getrennten Nachweis schneller Neutronen eingesetzt werden.

Neben den amtlichen Dosimetern wird von der Meßstelle eine größere Anzahl an nicht-amtlichen Dosimeterauswertungen und Meßverfahren angeboten (Tab. 3/1). Nichtamtliche Überwachung basiert in der Regel auf freiwilligen Zusatzmaßnahmen der Kunden, aber auch auf auflagebedingten Auswertungen.

Zur Umgebungsüberwachung werden sowohl Phosphatglas- als auch Thermolumineszenzdosimeter eingesetzt. Zur Überwachung der Radonkonzentration in der Luft werden passive im Forschungszentrum Karlsruhe entwickelte Radondiffusionskammern (Radondosimeter) mit Kernspurätzdetektoren angeboten. Zusätzlich erfolgt die Bereitstellung von Kernspurdetektoren für Kunden, die die Auswertung der Dosimeter selbst durchführen.

3.1.1 Photolumineszenzdosimetrie

A. Hager, B. Rittinger

Die Anzahl der mit Photolumineszenz-Glasdosimetern überwachten Betriebe erhöhte sich im Berichtszeitraum leicht, wobei die Auswertezahlen gegenüber dem Vorjahr zurückgingen (Tab. 3/1). Die Entwicklung der Auswertezahlen in den letzten zwölf Jahren ist in Abb. 3/1 dargestellt.

amtliche Auswertung	Auswertezahl	Kundenzahl
Phosphatglas-Ganzkörperdosimeter	80 143	93
Thermolumineszenz-Teilkörperdosimeter	25 223	251
Albedo-Neutronen-Ganzkörperdosimeter	11 726	55
nichtamtliche Auswertung		
Phosphatglasdosimeter	2 263	18
Thermolumineszenzdosimeter	1 178	9
Radondosimeter	7 671	23

Tab. 3/1: Serviceleistungen der amtlichen Meßstelle 1996

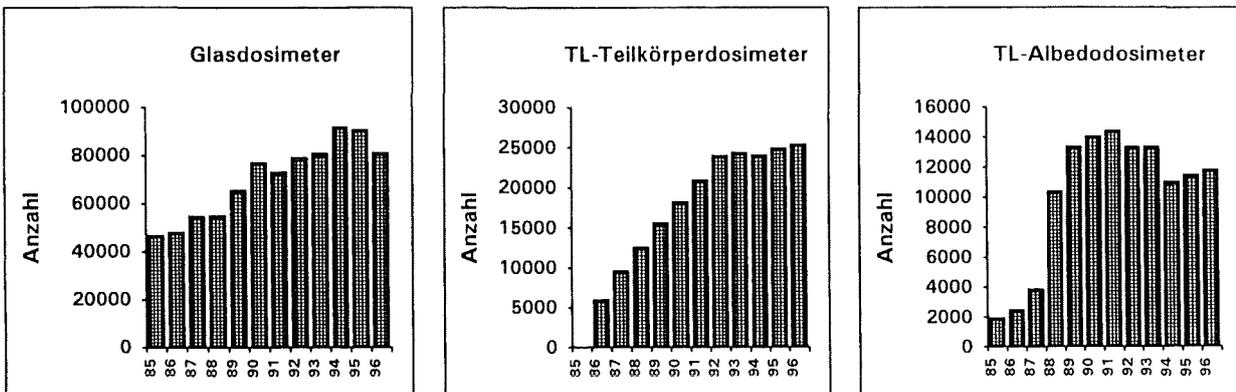


Abb. 3/1: Entwicklung der Auswertezahlen pro Jahr seit 1985

Den überwiegenden Anteil an den Phosphatglasauswertungen stellen die amtlichen Personenüberwachungen bei den Kernkraftwerken mit monatlichem Überwachungszeitraum dar. Den kleinsten Teil bilden die Feuerwehren und Katastrophenschutzeinheiten, die im jährlichen Rhythmus überwacht werden. Die in Abb. 3/2 sichtbaren monatlichen Schwankungen der Auswertezahlen sind zum einen die Folge des Zusammentreffens unterschiedlicher Überwachungszeiträume, zum anderen resultieren sie aus der teilweisen Überlappung der Revisionsphasen in den einzelnen Kraftwerken in der Jahresmitte.

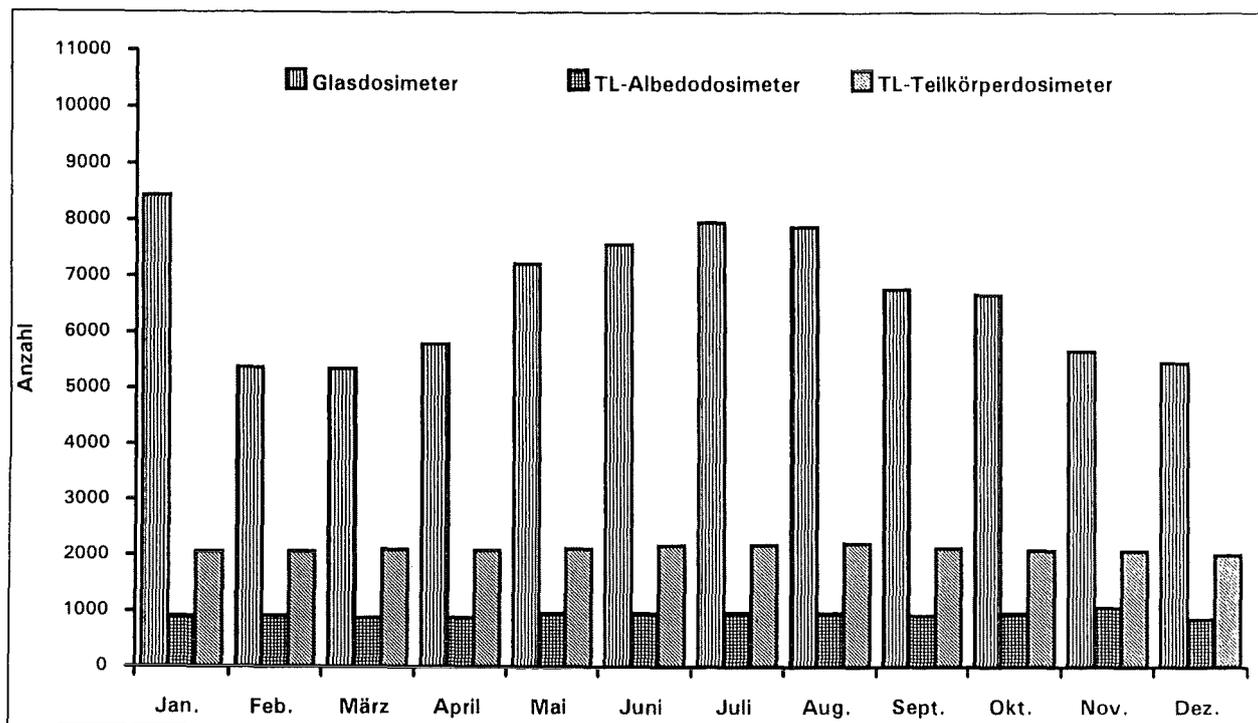


Abb. 3/2: Verlauf der Auswertezahlen pro Monat im Jahr 1996

3.1.2 Thermolumineszenzdosimetrie

N. Biegard, S. Volk

Die Auswertezahlen der Teilkörperdosimetrie liegen bei 2 000 im Monat. Während der Revisionsphasen in den Kernkraftwerken besteht Bedarf an Teilkörperdosimetern zur Messung von Betastrahlung. Die Meßstelle bietet für diesen Zweck das Fingerringdosimeter bestückt mit zwei TL-Detektoren an. Die Anzahl der automatisch ausgewerteten Albedoneutronendosimeter hat sich bei etwa 1 000 Dosimetern pro Monat eingependelt.

3.1.3 Vergleichsbestrahlungen

B. Burgkhardt, N. Biegard, A. Hager, B. Rittinger, S. Volk

Nach den Bestimmungen der Eichordnung und der Richtlinie über Anforderungen an Personendosismessstellen nach StrlSchV und RöV ist für amtliche Dosimeter eine Teilnahme an entsprechenden Vergleichsmessungen der PTB erforderlich. Die Ergebnisse unserer Auswertungen, die für die Photonendosimeter im Beisein eines Eichbediensteten durchgeführt wurden, sind in Tabelle 3/2 wiedergegeben.

Dosimeter	H / H _r
Phosphatglas-Ganzkörperdosimeter	0,998 ± 4,3 %
Thermolumineszenz-Teilkörperdosimeter	1,15 ± 15 %
Albedo-Neutronen-Ganzkörperdosimeter (Photonen)	1,02 ± 10 %
Albedo-Neutronen-Ganzkörperdosimeter (Neutronen)	1,35 ± 17 %

Tab. 3/2: Ergebnisse der Meßstelle bei den PTB-Vergleichsbestrahlungen 1996

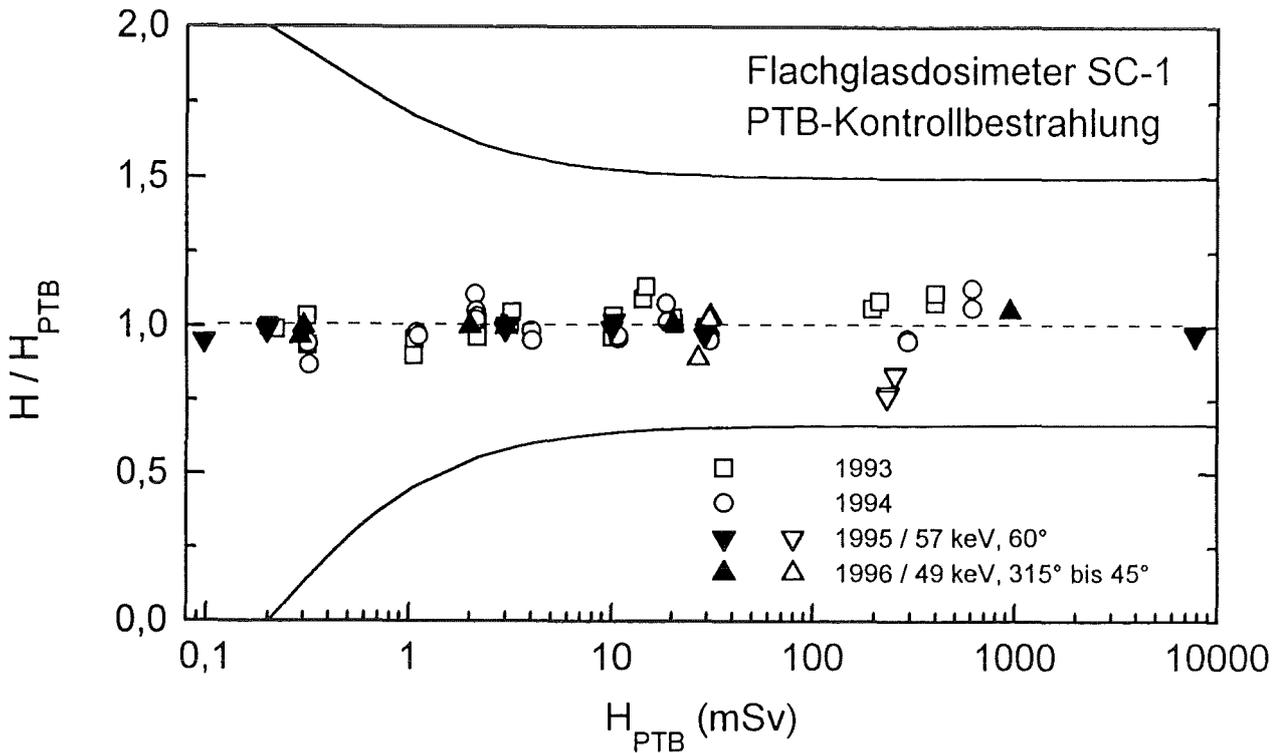


Abb. 3/3: Ergebnisse der PTB-Kontrollbestrahlung von Flachglasdosimetern

3.2 Sonstige Personen- und Ortsdosimeter

N. Biegard, A. Hager, B. Rittinger, S. Volk

Neben den amtlichen Dosimetern werden Festkörperdosimeter zur Eigenüberwachung im Forschungszentrum sowie im Auftrag auswärtiger Stellen ausgewertet. Eingeschlossen sind Dosismessungen mit Festkörperdosimetern in der Umgebung kerntechnischer Anlagen und die Bereitstellung und Einführung von neuen Dosimetern, Geräten und Methoden zum Nachweis von Beta-, Gamma- und Neutronenstrahlung in der Routine- bzw. Unfalldosimetrie.

Folgende Dosimeter werden routinemäßig zur Personen- und/oder Ortsdosimetrie eingesetzt:

- Thermolumineszenzdosimeter zur Personenüberwachung in Beta-Gamma-Mischstrahlungsfeldern. Es werden neutronenunempfindliche TLD-700 (${}^7\text{LiF:Mg,Ti}$) von 0,9 mm Dicke in einer Kapsel Typ Alnor hinter einer Abdeckung von 30 mg/cm² und 450 mg/cm² verwendet und in einem automatischen Auswertesystem ausgewertet.
- Thermolumineszenzdosimeter zur Umgebungsüberwachung bestehend aus TLD-700-Detektoren in einer Polyäthylenkapsel entsprechend einer Abdeckung von 500 mg/cm².
- Phosphatglasdosimeter zur Umgebungsüberwachung in der Flachglaskapselung zum praktisch energieunabhängigen Nachweis der Photonenstrahlung im Energiebereich von 25 keV bis 8 MeV.
- Passive Radondosimeter in zwei Ausführungen, bestehend aus Kernspurätzdetektor und Diffusionsfilter.

- Passive Neutronen-Äquivalentdosismesser, bestehend aus einer Polyäthylenkugel von 30 cm Durchmesser mit einem thermischen Neutronendetektor im Zentrum. Als Detektoren können Thermolumineszenzdetektoren oder Kernspurdetektoren im Kontakt mit einem (n,α)-Konverter verwendet werden. Mit letzteren läßt sich der Beitrag der natürlichen Neutronenstrahlung bei Expositionszeiten von einigen Monaten nachweisen.
- Thermolumineszenzdosimeter zur Ortsdosismessung im Gray-Dosisbereich. Bevorzugt werden $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ -Detektoren wegen ihrer relativ geringen Supralinearität und Wiederverwendbarkeit nach Hochdosisbestrahlungen eingesetzt.

Bei der Bereitstellung und Auswertung von Radondosimetern ist eine beachtliche Zahl durch Aufträge aus den neuen Bundesländern und aus den Niederlanden bedingt. Im Rahmen der Erstellung eines Altlastenkatalogs sind hier auch weiterhin erhöhte Auswertezahlen zu erwarten.

3.2.1 Einsatz eines Makrofolddetektors in Überschall-Linienflugzeugen und in Hochenergieneutronenfeldern

B. Burgkhardt, B. Rittinger

In großen Flughöhen ("supersonic altitudes") tragen vor allen Dingen hochenergetische Neutronen zur Strahlenexposition bei. Makrofol-Kernspurdetektoren der Meßstelle, die bei einer Kalibrierung mit Cf-252-Neutronen noch ein Ansprechvermögen von etwa 80 % für 66-MeV-Neutronen zeigen und gegenüber Protonen unempfindlich sind, bieten sich deshalb als passive Detektoren für Neutronenmessungen in großen Flughöhen an. Im Rahmen eines Experiments der "School of Cosmic Physics" in Dublin wurden sie über eine längere Zeitspanne in Überschall-Linienflugzeugen exponiert. Folgende Ergebnisse wurden gefunden:

Exposition:

Flugstunden London - NewYork im Jahr 1995/96	450 h
in Höhe >12 km 80 % der Zeit	ca. 360 h
mittlere Höhe	15 bis 18 km

Dosimeter:

Detektor: Makrofol DE, 490 µm dick,
Radiator: gleiches Material,
radongeschützt eingeschweißt in Alu-Verbundfolie

Ätzung:

Ätzlösung KOH 6N 50 % und Ethanol (96 %) 50 %, 40 °C,
Feldstärke 42 kV/cm, 100 Hz 5 h, 2 kHz 1 h, Nachätzung 30 min

Gesamtzahl der gezählten Spuren:

für Meßwert	1 600
für Untergrund	480
für Kalibrierung mit Cf-252-Neutronen	12 000

Fluenz-Äquivalentdosis-Konversionsfaktor in mSv·cm ²	384,5
---	-------

Korrektion Nichtlinearität	-5 %
----------------------------	------

Neutronen-Äquivalentdosis H*(10) abzüglich Untergrund	1,7 mSv ± 5 %
---	---------------

Faltung (Dr. Siebert, PTB) des Neutronenspektrums in 12,3 km (Hewitt et. al., IAEA compendium 318); Anisotropie des Neutronenfeldes und des Detektoransprechvermögens nicht berücksichtigt	86 %
---	------

resultierende mittlere Neutronen-Äquivalentdosisleistung	5,2 µSv/h
--	-----------

Ein Ergebnisbericht der "School of Cosmic Physics", der einen Vergleich mit anderen Detektorsystemen ermöglichen könnte, liegt uns leider nicht vor.

Die Makrofol-Kernspurdetektoren der Meßstelle wurden auch bei einer Vergleichsbestrahlung des Bundesamtes für Strahlenschutz von Personendosimetern in Hochenergiebeschleunigern eingesetzt. Die Bestrahlungen erfolgten in einem 30- und 70-MeV-Neutronenfeld beim Paul-Scherrer-Institut Villigen und im CERN-Referenzfeld "top concrete" (Neutronen aus Reaktionen von positiven Teilchen mit einer Energie von 120 GeV mit dickem Kupfertarget hinter 80 cm Beton). Das sich aus den Sollwerten ergebende mittlere Ansprechvermögen in den drei Feldern betrug bei der zugrundegelegten Kalibrierung 0,82, entsprechend 1,03 bei einer Cf-252-Kalibrierung. Die maximale Abweichung vom Sollwert lag bei 35 %. Damit gehörte das Kernspurdosimeter der Meßstelle zu den Systemen, die im Vergleich gut abgeschnitten haben.

3.2.2 Ergebnisse für zwei Beta-Fingerringdosimeter der Meßstelle beim Betadosimetervergleich der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt

B. Burgkhardt, B. Rittinger

Neutronen- und Betadosimeter unterliegen im Gegensatz zu Photonendosimetern nicht der Eichpflicht. Für die nach Landesrecht zuständigen Meßstellen ist jedoch die Teilnahme an entsprechenden Vergleichsbestrahlung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt erforderlich, die 1995/96 erstmalig und probeweise für Betadosimeter stattfand. Unsere Meßstelle hat sich mit zwei Beta-Fingerringen beteiligt, bei denen es sich um Modifikationen des bauartgeprüften und routinemäßig eingesetzten Edelstahlfingerrings für die Messung von Photonenstrahlung handelt, der einen LiF:Mg,Ti-Detektor enthält und mit einer Schrumpfschlauchabdeckung versehen ist. Bei den Beta-Fingerringdosimetern wurde der LiF:Mg, Ti-Detektor durch einen Zweischicht-LiF:Mg, Cu, P-Detektor mit einer effektiven Dicke entsprechend ca. 10 mg/cm² ersetzt. Ein Beta-Fingerring besitzt zusätzlich noch ein Mylar-Folienfenster entsprechend ca 2 mg/cm². Dieser Fingerring zeigt im Energiebereich bis zum Pm-147 (mittlere Energie 60 keV) und einem Strahleneinfallswinkel bis 60° gute Ergebnisse (Abb. 3/4). Für einen Strahleneinfallswinkel von 60° können keine Konversionsfaktoren zur Berechnung der Referenzdosen bei der weichen Betaenergie des Pm-147 angegeben werden. Der angegebene Fehlerbalken repräsentiert die Standardabweichung des Mittelwertes für mehrere Bestrahlungen im Dosisbereich zwischen 1 und 100 mSv. Der Ring ohne Fenster ist für Betastrahlenfelder ab den Energien des Kr-85 oder Tl-204 (mittlere Energie ca. 240 keV) geeignet (Abb. 3/5). Vom praktischen Gesichtspunkt der mechanischen Stabilität ist in den Strahlenfeldern ohne weiche Betastrahlung bevorzugt der fensterlose Ring einzusetzen. Die Beta-Fingerringe haben keine Bauartzulassung für Photonenstrahlung.

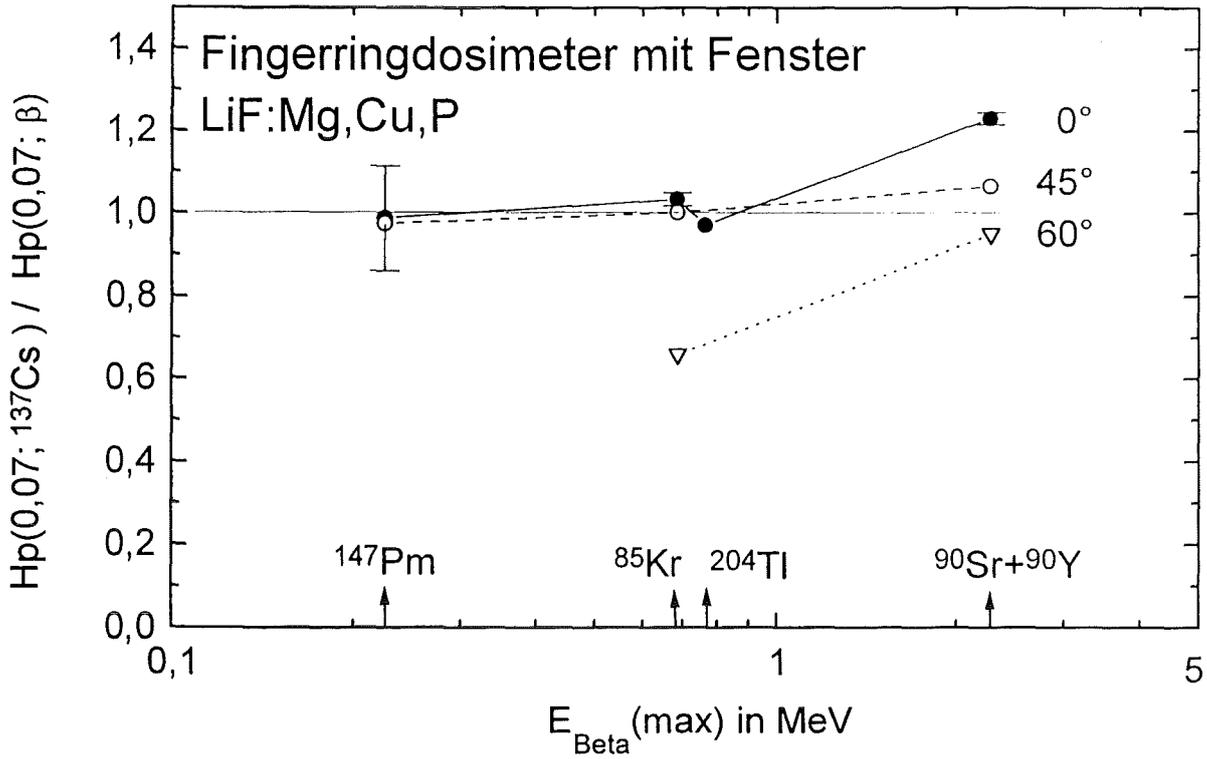


Abb. 3/4 Beta-Energieabhängigkeit des Beta-Fingerrings mit Mylarfolien-Fenster

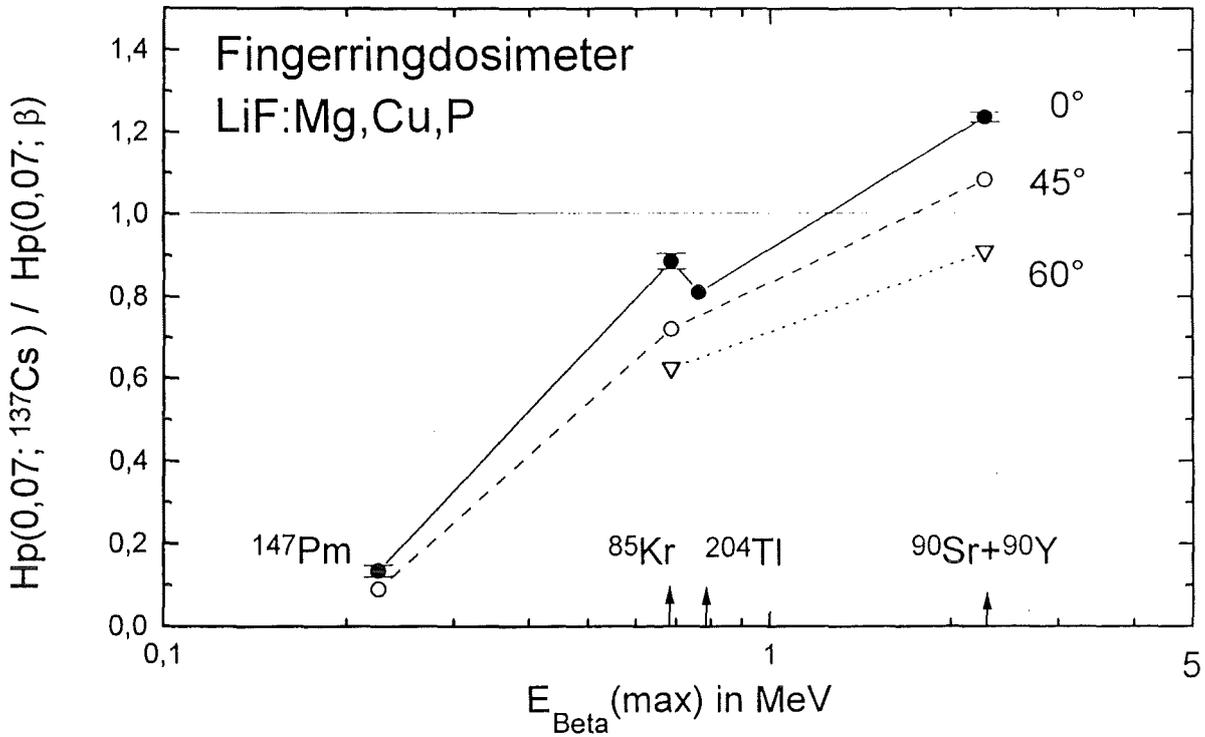


Abb. 3/5 Energieabhängigkeit des Beta-Fingerrings für energiereiche Betastrahlung

3.2.3 Optimierungsversuche mit Radondetektorfolien

J. Schmitz, B. Reiber

Die Ätzung der Kernspurdetektoren für die passive Radondosimetrie ist hinsichtlich Temperatur, Laugenkonzentration und elektrischer Feldstärke so optimiert, daß die komplette Ätzung - bestehend aus chemischer Vorätzung von 3,75 h und elektrochemischer Ätzung von 1,75 h - innerhalb eines Arbeitstages ausgeführt werden kann. Durch den höheren Anfall von externen Auftragsätzungen wäre es von Vorteil, die Ätzzeit so zu verringern, daß Ätzung, Zählen der Spuren und Wiederbeladen der Ätzzellen an einem Tag möglich sind, d. h. die Gesamtätzung sollte in weniger als drei Stunden ablaufen. Das wurde durch Austausch der bisher für die Detektoren verwendeten Mylar-Abdeckfolie mit einer Stärke von 3 μm gegen eine stärkere Folie erreicht. Damit kann der chemische Oberflächenabtrag von ca. 4,5 $\mu\text{m}/\text{Stunde}$ ersetzt werden durch einen rein mechanischen Abtrag der "Detektor"-Oberfläche durch Abziehen der Folie. Aus einer Reihe von eingehend auf ihre α -Energieabsorptionseigenschaften und ihre technische Verwendbarkeit geprüften (Kondensator-)Folien wurde eine 15 μm starke PP-Folie mit einer Aluminiumbeschichtung von 50 \AA ausgewählt. Diese Folie mit einem Flächengewicht von 1,34 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ war in der Lage, ca. drei Stunden chemische Verätzung zu kompensieren. Bei sonst gleichbleibenden Ätzparametern verkürzt sich dadurch die Gesamtzeit auf zwei bis drei Stunden. Die Abb. 3/6 zeigt die mit unterschiedlichen Vorätzzeiten eingestellte Ätztiefe (Abtrag), die einer Energieverteilung der absorbierten α -Strahlung im Detektor entspricht. Die maximale Empfindlichkeit, auf die das System eingestellt ist, verschiebt sich von etwa sechs Stunden auf weniger als drei Stunden. Das Ansprechvermögen nimmt nur geringfügig ab.

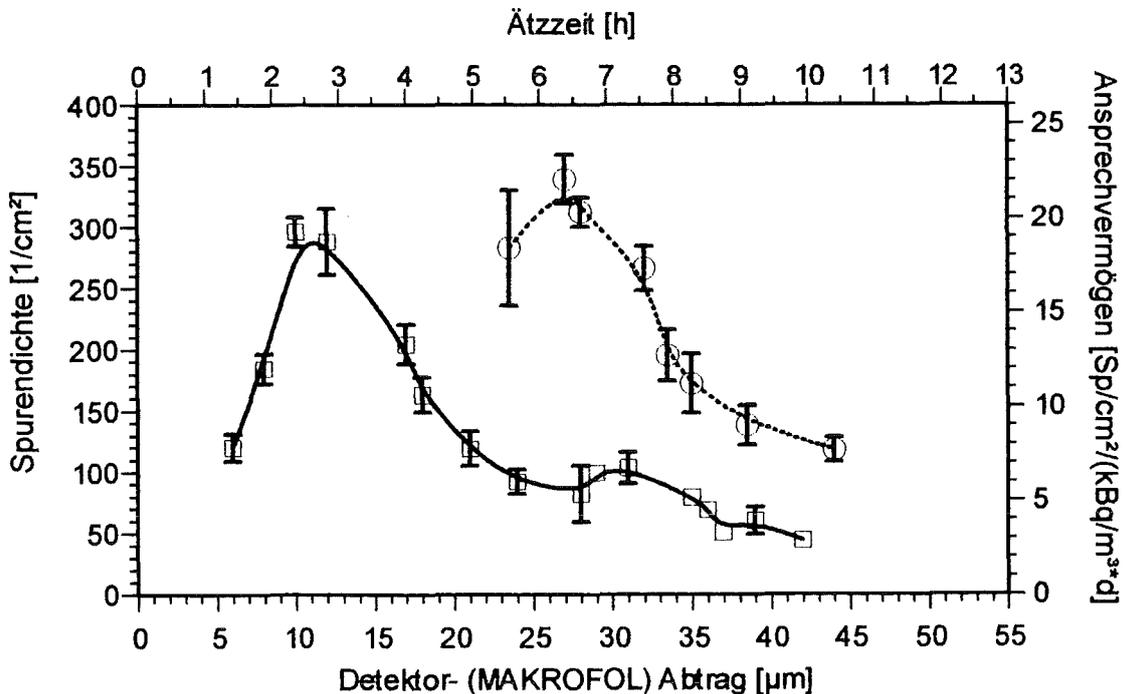


Abb. 3/6: Vergleich von Ätzkurven von Makrofol-Radondetektoren mit unterschiedlichen Abdeckfolien

Eine weitere Änderung der Standardätzbedingungen, die zu einer Verbesserung der Auflösung bei hohen Spurendichten führen sollte, wurde untersucht. Der geringere Abtrag der 300 μm starken Detektoren durch die vorausgegangene Optimierung bis zum Einsetzen der elektrochemischen Spurenaufweitung ließ neben der durch lange Erfahrung verbesserten Handhabung des Ätzpaketes eine höhere Durchschlagfestigkeit der Detektorfolien im elektrischen Wechselfeld erwarten. Die Feldstärke wurde von 36 auf 42 kV/cm erhöht bei gleichzeitiger Reduzierung der elektrochemischen Ätzzeit von 1,75 h auf

1,25 h. Die daraus resultierenden kleineren Spuren lassen sich noch fehlerfrei mit Hilfe der 20fachen Vergrößerung eines Microfiche-Reader/Printer auszuzählen. Die beiden Kurven in Abb. 3/7 lassen erkennen, daß die durch die gegenseitige Beeinflussung der Spuren beim Wachsen hervorgerufene Nichtlinearität bei hohen Spurendichten mit dieser Ätzvariante wesentlich später eintritt und damit auch höhere Expositionen des Detektormaterials möglich werden. Die Gesamtätzzeit von 5,25 h verringert sich durch beide Verbesserungen auf insgesamt 2,25 h. Vor der generellen Umstellung der Radondosimeterätzung müssen jedoch noch weitere Versuche zur Verbesserung der Stanztechnik bei der Detektorherstellung stehen und neue Eichkurven erstellt werden.

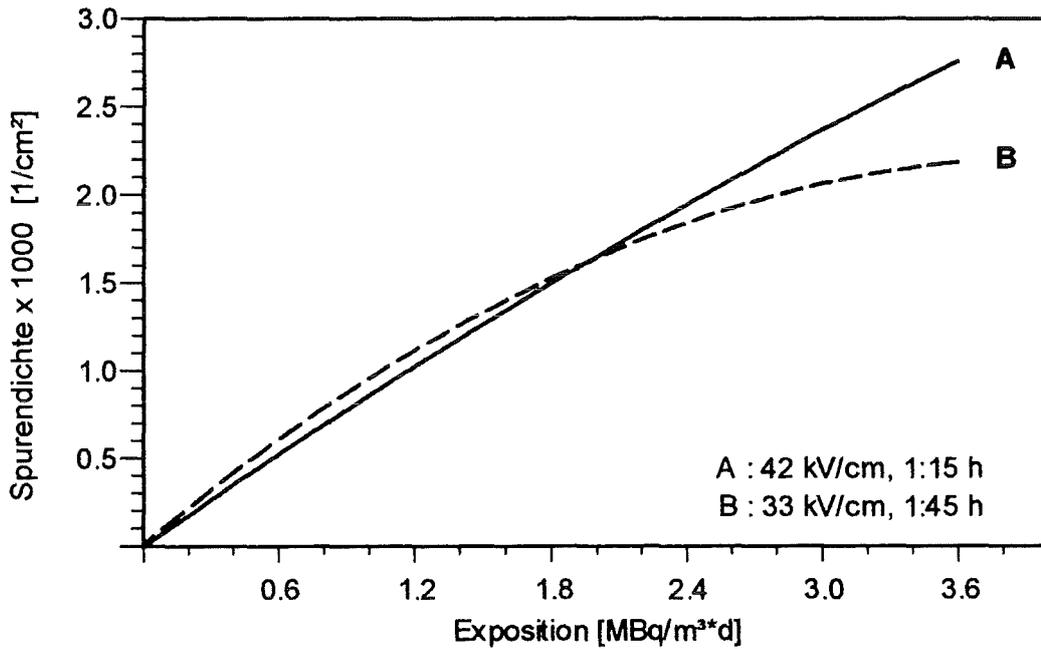
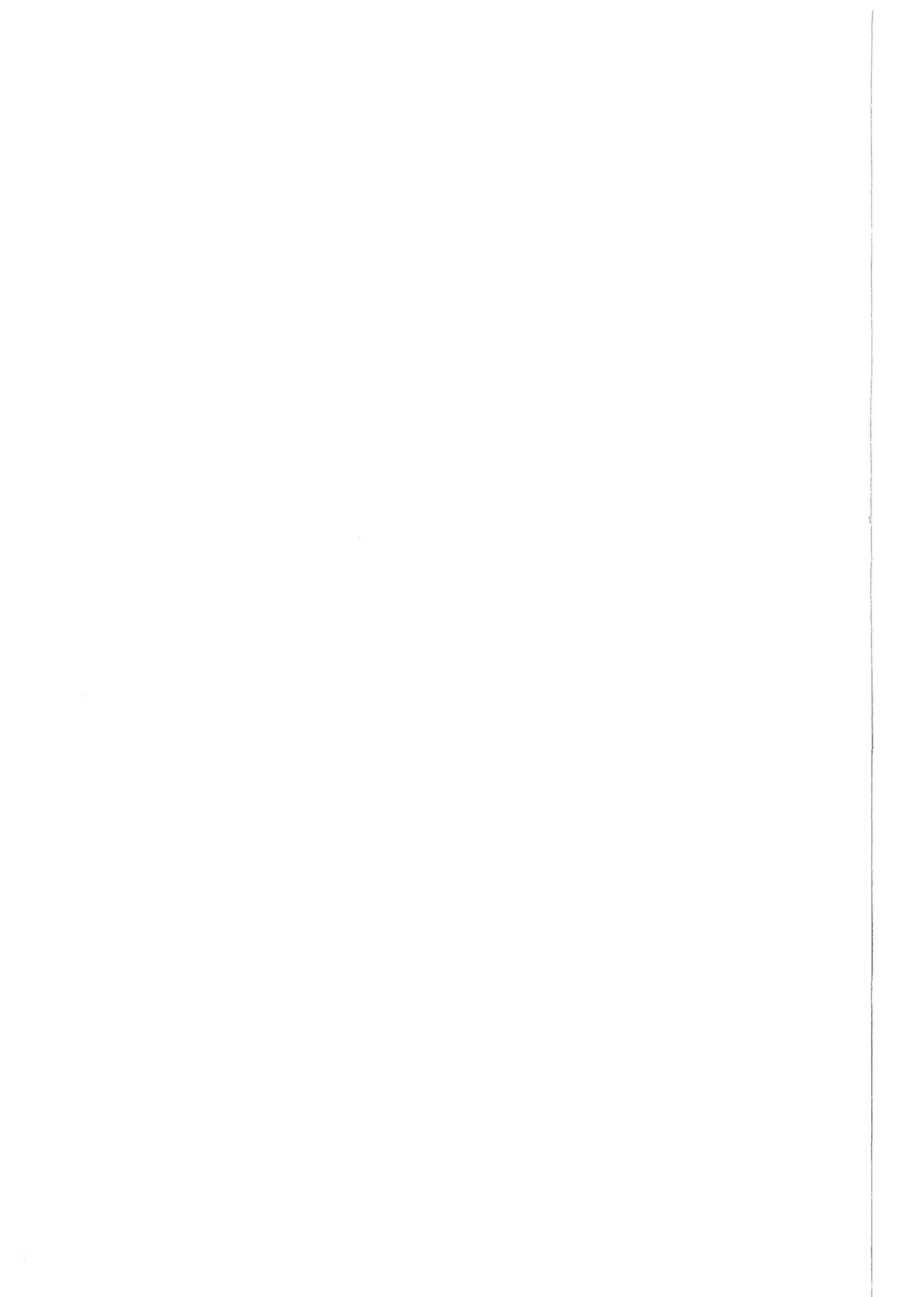


Abb. 3/7: Abhängigkeit der Detektorlinearität von den elektrochemischen Ätzparametern



4 Strahlenschutz

H. Dilger

Die Aufgaben der Abteilung umfassen die Bereitstellung von Strahlenschutzpersonal einschließlich der Meßgeräte zur Durchführung der Arbeitsplatzüberwachung vor Ort und die Messungen zur Überwachung der inneren Exposition von auf dem Gelände des Forschungszentrums tätiger Personen.

Die Gruppen Arbeitsplatzüberwachung I und II unterstützen die Strahlenschutzbeauftragten in der Wahrnehmung ihrer Pflichten gemäß Strahlenschutz- oder Röntgenverordnung. Der Umfang der Zusammenarbeit ist in Abgrenzungsregelungen zwischen der Hauptabteilung Sicherheit und den entsprechenden Institutionen festgelegt. Die für die Arbeitsplatz- und Umgebungsüberwachung eingesetzten Geräte werden durch Mitarbeiter der Gruppe Meßgeräte beschafft, verwaltet und repariert bzw. die Reparatur veranlaßt. Weiter betreibt diese Gruppe einen Neutronen-/Gammastrahler-Kalibrierstand und einen Röntgen-/Gammastrahler-Eichstand, der außer für eigene Kalibrierbestrahlungen auch vom Eichamt Baden-Württemberg genutzt wird.

Die Gruppe Interne Dosimetrie betreibt einen Ganzkörper- und verschiedene Teilkörperzähler zum gammaspektroskopischen Nachweis von Radionukliden im menschlichen Körper. Des weiteren ist dieser Gruppe ein zentrales Meßlabor angeschlossen, in dem die Aktivität von Raumluftfiltern im Rahmen der Inkorporationsüberwachung ausgewertet und nuklidspezifische Analysen und Sondermessungen durchgeführt werden. Die zentrale Strahlenpaßstelle des Forschungszentrums gehört ebenfalls zur Gruppe Interne Dosimetrie. Im Laufe dieses Jahres wurde damit begonnen, konventionelle Arbeitsschutzmessungen durchzuführen.

4.1 Arbeitsplatzüberwachung

A. Reichert, B. Reinhardt

Bedingt durch die Aufgabenstellung sind die Mitarbeiter der Arbeitsplatzüberwachung dezentral in den einzelnen Institutionen des Forschungszentrums tätig. Nach der räumlichen Lage der zu überwachenden Gebäude gliedern sich die zwei Gruppen in fünf Bereiche (siehe Lageplan nach Seite 54 und Tab. 4/1).

Eine wichtige Aufgabe für die Arbeitsplatzüberwachung ist die Durchführung der Personendosimetrie. Jede beruflich strahlenexponierte Person erhält neben einem Flachglas- oder Albedodosimeter eine Taschenionisationskammer. Die Anzahl der Personen einschließlich Fremdfirmenangehöriger, die mit selbstablesbaren Taschenionisationskammern ausgerüstet wurden (Stichmonat Dezember 1996), ist in Spalte 4 der Tab. 4/1 aufgeführt. Diese Anzahl hat sich gegenüber dem Vorjahr um ca. 200 verringert. Dies ist vor allem auf eine Reduktion im Bereich FR2 und den Heißen Zellen zurückzuführen.

Die Gebäude und Anlagen werden routinemäßig durch Oberflächenkontaminations-, Wischproben-, Dosisleistungs- und Raumluftmessungen überwacht. Die Fläche der betrieblichen Überwachungs-, Kontroll- und Sperrbereiche ist in Spalte 5 der Tab. 4/1 angegeben. Vom betrieblichen Überwachungsbereich werden nur die Bereiche aufgeführt, in denen eine Aktivität oberhalb der Freigrenze gehandhabt wird. Signifikant verringert hat sich die überwachte Fläche durch die Entlassung des FR2 aus dem Kontrollbereich. Die Zuordnung der Hauptabteilung Zyklotron vom Bereich HDB I zum Bereich Institute bedingt die Veränderung der Flächenwerte in diesem Bereich.

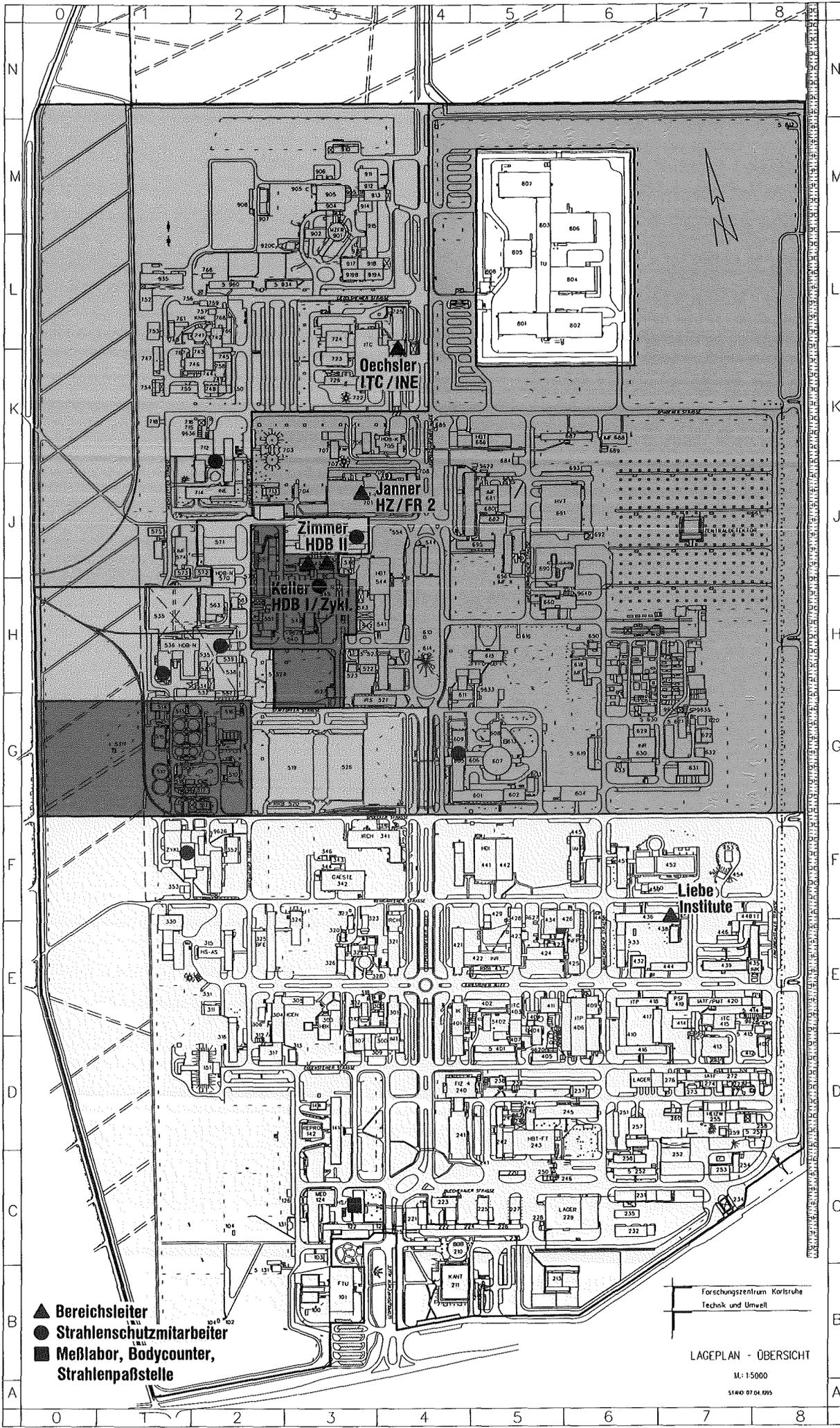
Gruppe	Bereich Überwachte Institutionen	Anzahl der Mitarbeiter der Abteilung Strahlenschutz	Anzahl der überwachten Personen	Fläche des überwachten Bereichs in m ²
1	2	3	4	5
Arbeitsplatzüberwachung I	Gruppenleiter	1 (1)		
	1. ITC: INE, ITC-CPV	4,0 (4,0)	276 (299)	9 500 (9 500)
	2. HZ: BTI (Bau 705), HIT, HVT-HZ, IRS, IMF	4,5+6# (4,5+6#)	277 (416)	8 700 (13 100)
	3. Inst/TL: FTU, BTI-B, HS, HVT-TL, IGEN, IK, INFP, INR, IFIA, ITC-TAB, ITOX, HZY	6,5 (6)	546 (534)	6 500 (4 400)
Arbeitsplatzüberwachung II	Gruppenleiter	1 (1)		
	4. HDB I: HDB (Bau 518, 543, 545, 547, 553, 555)	8 (9)	215 (236)	3 800 (5 900)
	5. HDB II: HDB (Bau 519, 526, 531-536, 548, 561, 563, 570, 571)	10+3+ (8+3+)	235 (265)	39 300 (39 300)

#Dreischichtdienst, +Zweischichtdienst

Tab. 4/1: Personalstand der Arbeitsplatzüberwachung (Soll), überwachte Personen und Bereichsgröße, jeweils Stand Dezember 1996 (Vorjahreszahlen in Klammer)

Die Kontaminationskontrolle von Personen am Ausgang von Bereichen, in denen genehmigungspflichtig mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, geschieht in der Regel in Eigenüberwachung mit Hand-Fuß-Kleider-Monitoren mit automatisiertem Meßablauf. Die Alarmwerte betragen 0,05 Bq/cm² für α -Aktivität und auf 0,5 Bq/cm² für β -Aktivität. Sie werden zur Zeit auf die von der Behörde geforderte niedrige Alarmverfehlungswahrscheinlichkeit von 5 % eingestellt.

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. Insgesamt wurden ca. 1 900 Vorgänge bearbeitet. Dies bedeutet einen Rückgang um 400 Erlaubnisse. Weiterhin führen Mitarbeiter die Strahlenschutzkontrolle bei der Ausfuhr von Material aus den Kontrollbereichen und den betrieblichen Überwachungsbereichen mit Kontaminationsrisiko durch. Dabei kann es sich um weiterverwendbare Gegenstände, wiederverwertbare Reststoffe oder inaktive Abfälle handeln. Im Jahre 1996 wurden insgesamt 333 (Vorjahr 345) formalisierte Vorgänge von der Abteilungsleitung bearbeitet. Der weiterhin hohe Anzahl ist darauf zurückzuführen, daß auch 1996 ein starker Materialabfluß aus dem FR2 stattfand.



Oechsler
LTC / INE

Janner
HZ / FR 2

Zimmer
HDB II

Keller
HDB I / Zykl

Liebe
Institute

Forschungszentrum Karlsruhe
Technik und Umwelt

LAGEPLAN - ÜBERSICHT

M: 15000

51800 07 04 055

Die Abteilung Strahlenschutz unterhielt 1996 von Montag bis Freitag einen Dreischichtdienst, der auch außerhalb der regulären Arbeitszeit u. a. die Überprüfung von Meldungen vornimmt, in Zwischenfallsituationen Strahlenschutzmaßnahmen ergreift, Transportkontrollen durchführt, Proben aus den Abwassersammelstationen ausmißt und gegebenenfalls zum Abpumpen in das Klärwerk freigibt und zeitweise die Strahlenschutzüberwachung von Anlagen in der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe während der Nachtschicht durchführt. Außerhalb der Regelarbeitszeit stehen zwei Rufbereitschaften zur Verstärkung des Schichtdienstes oder zur alleinigen Klärung und Bewältigung von Zwischenfallssituationen 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.

Die wiederkehrenden Prüfungen an Strahlenschutzmeßgeräten werden von den Mitarbeitern der Abteilung nach festgelegten Prüfplänen vorgenommen. Von autorisierten Mitarbeitern werden die Dichtheitsprüfungen an umschlossenen Strahlern in den einzelnen Institutionen durchgeführt (s. Kap. 4.3.2.3).

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. Insgesamt nahmen Mitarbeiter der Abteilung an 26 Kursen über Strahlenschutz, Chemie und Datenverarbeitung teil. Für die Mitarbeiter des Schichtdienstes und der Rufbereitschaften wurden monatlich Begehungen von Gebäuden mit Fort- und Raumluftmonitoren sowie sonstigen dauernd betriebenen Strahlenschutzmeßgeräten durchgeführt.

Beim FR2 wurden die Rückbaumaßnahmen zur Herbeiführung des sicheren Einschusses überwacht und die Materialflüsse kontrolliert. Diese Arbeiten konnten im Herbst abgeschlossen werden. Angewachsen ist die Zahl der Kontrollmessungen bei MZFR und KNK. Die Messungen werden von Fremdfirmenpersonal vor Ort nach unseren Meßanweisungen mit von uns bereitgestellten Meßgeräten durchgeführt. Aus der Strahlenschutzüberwachung konnten nach Durchführung umfangreicher Kontrollmessungen Räume der Hauptabteilung Ingenieurtechnik sowie die Hilfsanlagengebäude 911 und 914 des MZFR entlassen werden.

4.2 Ergebnisse der Arbeitsplatzüberwachung

H. Dilger

Art und Menge der gehandhabten radioaktiven Stoffe und auftretenden Strahlenarten sind in den einzelnen Institutionen unterschiedlich. Bei der folgenden Aufstellung werden die Einrichtungen des Forschungszentrums in vier Gruppen zusammengefaßt: Beschleuniger, Institutionen mit höherem Aktivitätsinventar, Dekontamination und Abfallbeseitigung sowie sonstige Institutionen (vgl. Tab. 4/2).

4.2.1 Oberflächenkontaminationen

In Tab. 4/2 sind die gemessenen Oberflächenkontaminationen, aufgeschlüsselt nach den Strahlenarten, aufgeführt. Es werden Kontaminationen von Gebäudeoberflächen, Arbeitsplätzen, Arbeitsgegenständen und Material angegeben. Die Kontaminationen werden dabei in Vielfachen der durch die interne Kleider- und Zonenordnung vorgegebenen Interventionswerte eingeteilt. Die interne Kleider- und Zonenordnung nach Tab. 4/3 stellt eine Konkretisierung der Strahlenschutzverordnung nach den Gegebenheiten des Forschungszentrum Karlsruhe dar. Maßgebend für die Zoneneinteilung ist die Umgangs-

menge an offenen radioaktiven Stoffen in Vielfachen der Freigrenze gemäß der Strahlenschutzverordnung. Die Interventionswerte stellen die Obergrenzen der in den jeweiligen Zonen zugelassenen Oberflächenaktivitäten dar. Meßwerte aus der Zone IV, die bestimmungsgemäß kontaminiert ist, werden nicht aufgeführt. Die Anzahl der α -Oberflächenkontaminationen ist bedingt durch Umbauarbeiten in der Anlage Dekontamination flüssig angestiegen, die Anzahl der Kontaminationen in den Institutionen mit höherem Aktivitätsinventar ist auf niedrigem Niveau verblieben. Erstmals traten dieses Jahr nennenswerte Anzahlen von Tritiumkontaminationen im Tritiumlabor auf.

Gruppe	Beschleuniger (HZY, INR, INFP- VDG)	Institutionen mit höherem Aktivitäts- inventar (HVT-HZ, INE, ITC-CPV, PBS-FR 2)	Dekontami- nation und Abfall- behandlung (HDB)	sonstige Insti- tutionen	gesamt
Oberflächen- kontamination in Vielfachen der internen Interventionswerte	Anzahl der Fälle				
$10^0 < K_\alpha \leq 10^1$	0 (0)	12 (9)	226 (157)	0 (0)	238 (166)
$10^1 < K_\alpha \leq 10^2$	0 (0)	4 (1)	119 (37)	2 (0)	125 (38)
$10^2 < K_\alpha \leq 10^3$	0 (0)	0 (0)	23 (5)	0 (0)	23 (5)
$10^3 < K_\alpha$	0 (0)	0 (0)	2 (1)	0 (0)	2 (1)
$10^0 < K_\beta \leq 10^1$	0 (0)	10 (9)	93 (26)	9 (1)	112 (36)
$10^1 < K_\beta \leq 10^2$	3 (0)	7 (5)	33 (10)	33 (1)	76 (16)
$10^2 < K_\beta \leq 10^3$	0 (0)	0 (1)	3 (0)	5 (1)	8 (2)
$10^3 < K_\beta$	0 (0)	0 (1)	0 (1)	0 (0)	0 (2)
$10^0 < K_{H-3} \leq 10^1$	0 (0)	0 (0)	0 (0)	25 (0)	25 (0)
$10^1 < K_{H-3} \leq 10^2$	0 (0)	0 (0)	0 (0)	18 (0)	18 (0)
$10^2 < K_{H-3} \leq 10^3$	0 (0)	0 (0)	0 (0)	5 (1)	5 (1)
$10^3 < K_{H-3}$	0 (0)	0 (0)	0 (0)	3 (1)	3 (1)
Raumluftaktivitäts- konzentrationen in Vielfachen von abge- leiteten Grenzwerten	Anzahl der Fälle				
$0,03 < R_\alpha \leq 1$	0 (0)	564 (1 273)	2 767 (5 079)	38 (58)	3 369 (6 410)
$1 < R_\alpha \leq 20$	0 (0)	215 (265)	534 (419)	1 (1)	750 (685)
$20 < R_\alpha$	0 (0)	123 (83)	87 (93)	0 (0)	210 (176)
$0,016 < R_\beta \leq 1$	4 (7)	3 (33)	170 (137)	0 (0)	173 (181)
$1 < R_\beta \leq 20$	0 (0)	0 (0)	10 (15)	0 (0)	10 (15)
$20 < R_\beta$	0 (0)	0 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (1)
$0,025 < R_{H-3}$	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

Tab. 4/2: Strahlenschutzmeßergebnisse 1996 im Forschungszentrum Karlsruhe (Vorjahreswerte in Klammer); bezüglich der Interventionswerte und der abgeleiteten Grenzwerte siehe Kap. 4.2.1 und 4.2.2

4.2.2 Raumluftaktivitäten

Die Kontrollbereiche der Institutionen mit höherem Aktivitätsinventar und der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe werden mit einem Netz von stationären Aktivitätssammlern überwacht, die einen Luftdurchsatz von 20 bis 50 m³/h haben. Die Filter werden arbeitstäglich gewechselt. Daneben werden an Arbeitsplätzen, an denen eventuell mit Freisetzungen zu rechnen ist, anzeigende Geräte mit Alarmgebern eingesetzt. In Tab. 4/2 sind auch die Ergebnisse der Raumlufmessungen oberhalb der im nächsten Absatz genannten Meßschwellen nach α -, β - und H-3-Aktivitäten aufgeschlüsselt aufgeführt. Wie durch einen Vergleich mit den Vorjahreswerten ersichtlich, hat sich die Anzahl der α -Raumluftaktivitätskonzentrationen halbiert. Dies ist auf die Beendigung des Rückbaus der PUTE-Anlage im Institutsbereich Chemisch-Physikalische Verfahren des Instituts für Technische Chemie und auf zurückgehende Freisetzungen in der HDB zurückzuführen.

Aus den Grenzwerten der Jahresaktivitätszufuhr gemäß Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A und dem Jahresinhalationsvolumen von 2 400 m³ werden Interventionswerte abgeleitet. So werden in den Anlagen des Forschungszentrums Karlsruhe im allgemeinen für α -Aktivitätsgemische 0,04 Bq/m³ (Leitnuklid Pu-239, löslich), für β -Aktivitätsgemische 40 Bq/m³ (Leitnuklid Sr-90, löslich/unlöslich) festgelegt. In Institutionen, in denen mit speziellen Nukliden umgegangen wird, werden die Interventionswerte haus- und nuklidspezifisch festgelegt. Für I-123 ergibt sich 0,4 kBq/m³ und für HTO 1 MBq/m³.

Bei Raumluftaktivitätskonzentrationen oberhalb dieser Interventionswerte dürfen Arbeiten in den Anlagen des Forschungszentrums nur mit Atemschutzfiltergeräten bzw. beim Auftreten von Tritium mit fremdbelüfteten, gasdichten Schutzanzügen durchgeführt werden. Oberhalb des 20fachen der abgeleiteten Interventionswerte muß im Falle von aerosolförmigen Raumluftaktivitäten mit Atemschutzisoliergeräten, oberhalb des 200fachen dieser Werte mit fremdbelüfteten, gasdichten Schutzanzügen gearbeitet werden. Als untere Meßschwelle für Glasfaserfilter wurde bei der α -Aktivität 1,25 mBq/m³ und bei der β -Aktivität 0,65 Bq/m³ gewählt.

Damit ist bei einem nach der Strahlenschutzverordnung angenommenen Jahresinhalationsvolumen von 2 400 m³, das aber in der Praxis wegen kürzerer Aufenthaltszeiten weit unterschritten wird, eine α -Aktivität von 3,0 % entsprechend der Interpretationsschwelle gemäß der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen und eine β -Aktivität von 1,6 % des Grenzwerts der Jahresaktivitätszufuhr für Personen der Kategorie A - bezogen auf Pu-239, löslich, und Sr-90, löslich/unlöslich - nachweisbar.

Die Messungen der Raumluftaktivitäten werden zum Teil zur Inkorporationsüberwachung herangezogen (s. Kap. 4.3).

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 0,4 Bq für α -Aktivitätsgemische oder von 400 Bq für β -Aktivitätsgemische überschreiten, werden bei den betroffenen Mitarbeitern Inkorporationsmessungen aus besonderem Anlaß durchgeführt und eine spezielle Abschätzung der Aktivitätszufuhr vorgenommen.

Zone	Grenzwert für Oberflächenkontamination Bq/cm ²	Umgangsaktivität ³⁾ mit offenen radioaktiven Stoffen	Mindestkennzeichnung nach § 35 StrlSchV	Kleidung (ständig Beschäftigte)
Zone I betrieblicher Überwachungsbereich	$\alpha \leq 0,05$ $\beta \leq 0,5$ ¹⁾ $n_i \leq 5$ ²⁾	\leq Freigrenze	keine	Arbeitskleidung ohne gelbe oder grüne Kennzeichnung oder Privatkleidung
Zone II Kontaminationsbereich im betrieblichen Überwachungsbereich	$\alpha \leq 0,5$ $\beta \leq 5,0$ ¹⁾ $n_i \leq 50$ ²⁾	$\leq 10^2$ fache Freigrenze	Radioaktiv Kontamination	Arbeitsmantel mit gelber oder grüner Kennzeichnung Arbeitsschuhe oder Privatschuhe mit Überschuhen
Zone III Kontrollbereich	$\alpha \leq 5,0$ $\beta \leq 50$ ¹⁾ $n_i \leq 500$ ²⁾	\leq Genehmigungsumfang	Radioaktiv Kontamination	gelbe Kleidung, jedoch Arbeitsmantel nur in Verbindung mit Arbeitskleidung gelbe Arbeitsschuhe
Zone IV Kontaminationsbereich im Kontrollbereich	$\alpha > 5,0$ $\beta > 50$ ¹⁾ $n_i > 500$ ²⁾	\leq Genehmigungsumfang	Radioaktiv Kontamination	gelbe Kombinationschutzkleidung gelbe Arbeitsschuhe und Überschuhe oder Sonderschutzkleidung

1) β -/ γ -Strahler ohne ²⁾

2) n_i = niederenergetische Strahler gemäß Anlage IX StrlSchV

3) Umgangsaktivität: unter Anwendung der Summenformel ermittelte Aktivität innerhalb funktionell zusammenhängender Räumlichkeiten

Tab. 4/3: Kleider- und Zonenordnung im Forschungszentrum Karlsruhe

4.3 Interne Dosimetrie

H. Doerfel

Die Gruppe Interne Dosimetrie ist für die personenbezogene Inkorporationsüberwachung durch Direktmessung der Körperaktivität sowie für die betriebliche Inkorporationsüberwachung durch Messung der Aktivitätskonzentration in der Raumluft zuständig. Außerdem beschäftigt sie sich mit der Bereitstellung von biokinetischen und dosimetrischen Modellen zur Interpretation der bei der Inkorporationsüberwachung anfallenden Meßdaten und mit der Verbesserung der Meßverfahren zur internen Dosimetrie. Im Vordergrund stehen hierbei die Direktmessung der Körperaktivität von Aktiniden in Lunge, Leber und Skelett, die direkte Bestimmung der Äquivalentdosisleistung bei Inkorporation gammastrahlender Spalt- und Aktivierungsprodukte sowie die Verfahren zur hochempfindlichen Bestimmung der Alpha-Aktivität auf den im Rahmen der betrieblichen Inkorporationsüberwachung anfallenden Filterproben. Neben Messungen zur Eigenüberwachung des Forschungszentrums und der auf dem Gelände des Forschungszentrums angesiedelten Institutionen werden Messungen für externe Auftraggeber durchgeführt.

4.3.1 Personenüberwachung

4.3.1.1 Routine- und Sondermessungen

H. Doerfel, I. Hofmann, A. Zieger

Die Abteilung Strahlenschutz betreibt einen Ganzkörperzähler und verschiedene Teilkörperzähler zum gammaskopischen 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 2 000 keV nachgewiesen werden. Die verschiedenen Teilkörperzähler umfassen unter anderem drei ^8Li -Phoswich-Detektoren und vier HPGe-Sandwich-Detektoren mit Anti-Compton-Diskriminierung zum Nachweis niederenergetischer Photonenstrahler wie I-125, Pb-210 und Am-241. Die Meßgeometrie richtet sich hierbei nach der Art und der Lage der Nukliddeposition im Körper. So werden bei kurz zurückliegenden Inkorporationen hauptsächlich Messungen an den Lungen durchgeführt, während bei länger zurückliegenden Inkorporationen darüber hinaus auch Messungen an der Leber sowie am Kopf und an den Knien der Probanden durchgeführt werden können. Für räumlich eng begrenzte Nukliddepositionen steht außerdem auch ein kleiner ^1Li -Phoswich-Detektor sowie ein kleiner NaI(Tl)-Detektor zur Verfügung. Diese Detektoren werden hauptsächlich zur Untersuchung von Schilddrüsen- oder Wunddepositionen eingesetzt.

Die Tabellen 4/4 und 4/5 vermitteln einen Überblick über die im Jahr 1996 mit den Ganz- bzw. Teilkörperzählern durchgeführten Personenmessungen und ihre Verteilung auf die verschiedenen Institutionen.

Mit dem Ganzkörperzähler wurden insgesamt 1 656 Personen untersucht. Ein gewisser Teil dieser Personen wurde mehrmals untersucht, so daß sich die Gesamtzahl der Ganzkörpermessungen auf 2 229 beläuft. Hierbei handelte es sich zum weitaus überwiegenden Teil um Messungen im Rahmen der routinemäßigen Inkorporationsüberwachung. Etwa die Hälfte der Ganzkörpermessungen wurde 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 angesiedelten Institutionen einschließlich Europäisches Institut für Transurane (7,1 %), Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft (13,4 %) und Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (16,2 %) sowie im Fremdauftrag (16,2 %).

Bei etwa 16 % aller untersuchten Personen wurden Cs-137-Inkorporationen nachgewiesen. Bei 89 Personen lag die Cs-137-Körperaktivität über der Erkennungsgrenze für beruflich bedingte Cs-137-Körperaktivitäten (Kap. 4.3.1.2), allerdings wurden in vielen dieser Fälle (Höchstwert 2 060 Bq) nach Auskunft der Probanden Wildbret oder Pilze verzehrt, so daß auch hier zumeist von keiner beruflich bedingten Inkorporation auszugehen war. Bei 68 Personen wurden beruflich bedingte Inkorporationen von Co-60 (56 Fälle), Cs-134 (3 Fälle), Ag-110m (2 Fälle) sowie I-131, Co-58, Mn-54 und Zr-95 (je 1 Fall) festgestellt.

Bei den Messungen aus besonderem Anlaß wurden mit dem Ganzkörperzähler in sieben Fällen Cs-137, in drei Fällen Co-60 und mit den Teilkörperzählern in einem Fall Am-241 nachgewiesen. Die festgestellten Cs-137-Aktivitäten lagen in fünf Fällen unter der Erkennungsgrenze für beruflich bedingte Inkorporationen. In zwei Fällen handelte es sich um zwischenfallsbedingte Inkorporationen von Cs-137. Die nachgewiesenen Co-60-Aktivitäten waren bereits bei den Eingangsmessungen festgestellt worden und demzufolge nicht auf eine Zufuhr im Forschungszentrum zurückzuführen. In keinem Fall lag die Aktivität oberhalb der Interpretationsschwelle nach der 'Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle'. Die effektive Dosis war für alle Personen kleiner als 1,5 mSv.

Institution	Anzahl der überwachten Personen	Anzahl der routinemäßigen Inkorporationsmessungen	Anzahl der Inkorporationsmessungen aus besonderem Anlaß
BTI	9	12	
HDB	381	665	12
HIT	3	3	
HS-St	33	65	2
HVT-HZ	19	31	1
HVT-TL	1	1	
HZY	3	3	
IK III	1	1	
IMF I	1	1	
INE	19	34	1
INFP	1	1	
ITC-CPV	84	137	2
PBS-FR2	65	93	
PBS-HDR	2	2	
KBG-KNK	104	112	
KBG-MZFR	123	291	
TU	113	151	11
WAK	347	365	
Fremdauftrag	347	361	
Summe	1 656	2 229	28

Tab. 4/4: Anzahl der Personenmessungen mit dem Ganzkörperzähler 1996

Mit dem Teilkörperzähler wurden insgesamt 390 Personen untersucht (Tab. 4/5). Ein großer Teil dieser Personen wurde mehrmals untersucht, so daß sich die Gesamtzahl der Messungen auf 527 beläuft. Die Messungen wurden für die Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe des Forschungszentrums (8 %), das Europäische Institut für Transurane (16 %) sowie im Fremdauftrag für Euratom Luxemburg (42 %) und Siemens AG (20 %) durchgeführt. Bei etwa 15 % der Teilkörpermessungen handelte es sich um Untersuchungen aus besonderem Anlaß. Im Vordergrund standen hierbei Untersuchungen von Personen, die in den 70er Jahren Wartungs- und Reparaturarbeiten an Am-241-haltigen Ionisationsrauchmeldern durchgeführt haben. Neben den genannten Überwachungsmessungen wurden zahlreiche Messungen zur Ermittlung der Cs-137-Körperaktivität der Karlsruher Referenzgruppe vorgenommen (vgl. Kap. 4.3.1.2). Außerdem wurden verschiedene Materialproben von Abrißmaterial wie Steinwolle und Styropor gamma-spektroskopisch untersucht. Zur Qualitätssicherung wurden zahlreiche Kalibriermessungen, Teilkörperreferenzmessungen sowie Nulleffektmessungen durchgeführt. Mit Ausnahme der täglich erfolgenden Energiekalibrierungen sind alle Messungen in Tab. 4/6 aufgelistet. Die Gesamtanzahl aller im Jahr 1996 durchgeführten Messungen beläuft sich auf 3 267.

Institution	Anzahl der überwachten Personen	Anzahl der routinemäßigen Inkorporationsmessungen	Anzahl der Inkorporationsmessungen aus besonderem Anlaß
HDB	23	30	11
HS-St	2		2
INE	1		1
ITC-CPV	2		2
TU	69	74	11
Fremdauftrag	293	343	53
Summe	390	447	80

Tab. 4/5: Anzahl der Personenmessungen mit den Teilkörperzählern 1996

Messung	Ganzkörperzähler	Teilkörperzähler		
		8"-Phoswich	1"-Phoswich	HPGe-Sandwich
Routine	1 868	102	1	1
besond. Anlaß	28	26		1
Fremdauftrag	361	320		76
Referenz	218	9		
Nulleffekt	93	49	1	3
Kalibrierung		14	1	24
sonstige	64			7
gesamt	2 632	520	3	112

Tab. 4/6: Anzahl aller Messungen mit Ganz- und Teilkörperzählern 1996 (ohne Energiekalibriermessungen)

4.3.1.2 Cs-137-Referenzmessungen

H. Doerfel, I. Hofmann, A. Zieger

Seit Inbetriebnahme des ersten Ganzkörperzählers im Jahr 1961 werden regelmäßige Messungen zur Bestimmung der Cs-137-Körperaktivität an einer Referenzgruppe von zur Zeit etwa 20 nicht beruflich strahlenexponierten Personen aus dem Karlsruher Raum durchgeführt. Die Abb. 4/1 stellt die seit 1961 gemessenen Quartalsmittelwerte der spezifischen Cs-137-Körperaktivität dar. Deutlich erkennbar sind die Auswirkungen des Fall-outs der oberirdischen Kernwaffentests in den 60er Jahren sowie des Reaktorunfalls in Tschernobyl im April 1986. Die Tab. 4/7 zeigt die Monatsmittelwerte der spezifischen Cs-137-Körperaktivität für 1996. Der aus diesen Werten resultierende Jahresmittelwert von 0,22 Bq/kg ist etwas niedriger als im Vorjahr.

Monat	Spezifische Cs-137-Körperaktivität in Bq pro kg Körpergewicht
Januar	0,33
Februar	0,25
März	0,23
April	0,22
Mai	-
Juni	0,13
Juli	0,15
August	0,16
September	0,20
Oktober	0,22
November	0,26
Dezember	0,25
Mittelwert 1996	0,22±0,06

Tab. 4/7: Monatsmittelwerte der spezifischen Cs-137-Körperaktivität der Karlsruher Referenzgruppe im Jahr 1996

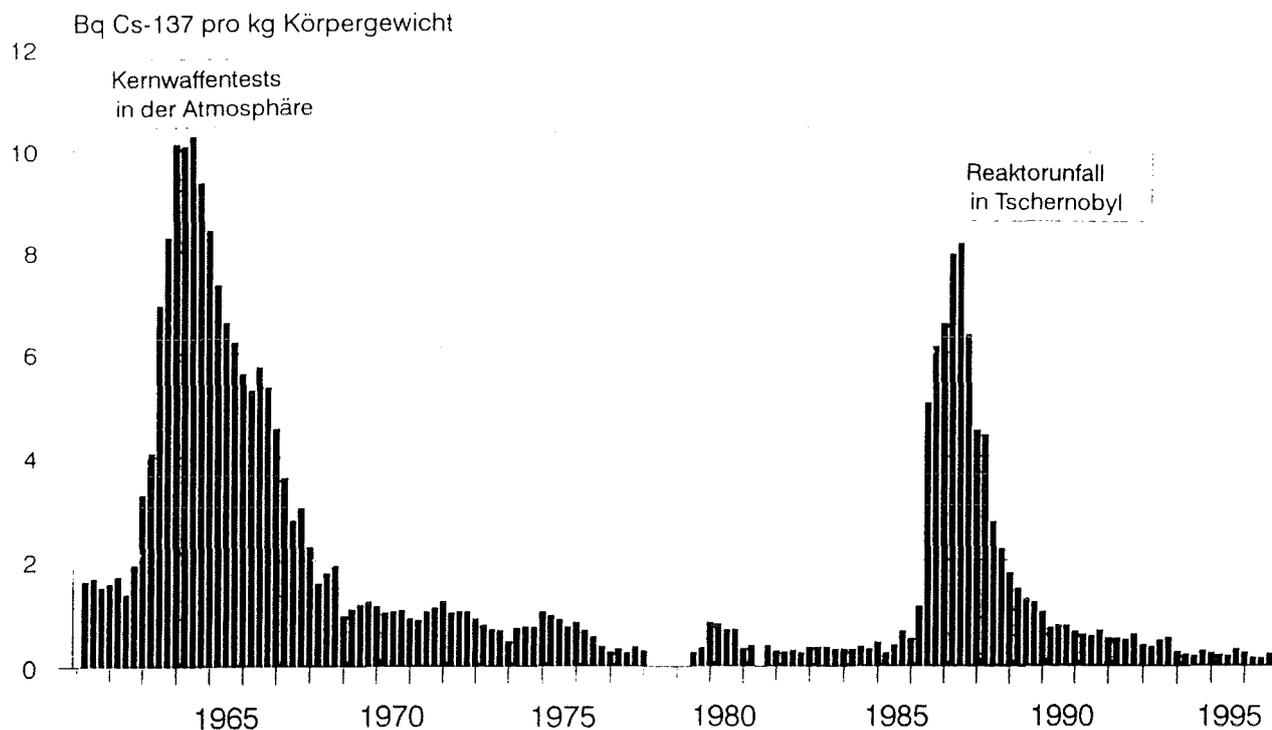


Abb. 4/1: Quartalsmittelwerte der spezifischen Cs-137-Körperaktivität der Karlsruher Referenzgruppe seit 1961

Die Geschlechtsabhängigkeit der Cs-137-Körperaktivität wird durch Abb. 4/2 verdeutlicht. 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 gilt diese Pauschalaussage allerdings nicht, da auch noch andere Faktoren den Cs-137-Gehalt beeinflussen, wie z. B. Muskel/Fett-Verhältnisse, Stoffwechsel und Ernährungsgewohnheiten. Der letztgenannte Einflußfaktor zeigt sich im Jahresgang der Meßwerte, der im Herbst stets einen durch den Verzehr von Pilzen bedingten leichten Anstieg der mittleren Cs-137-Körperaktivität zeigt.

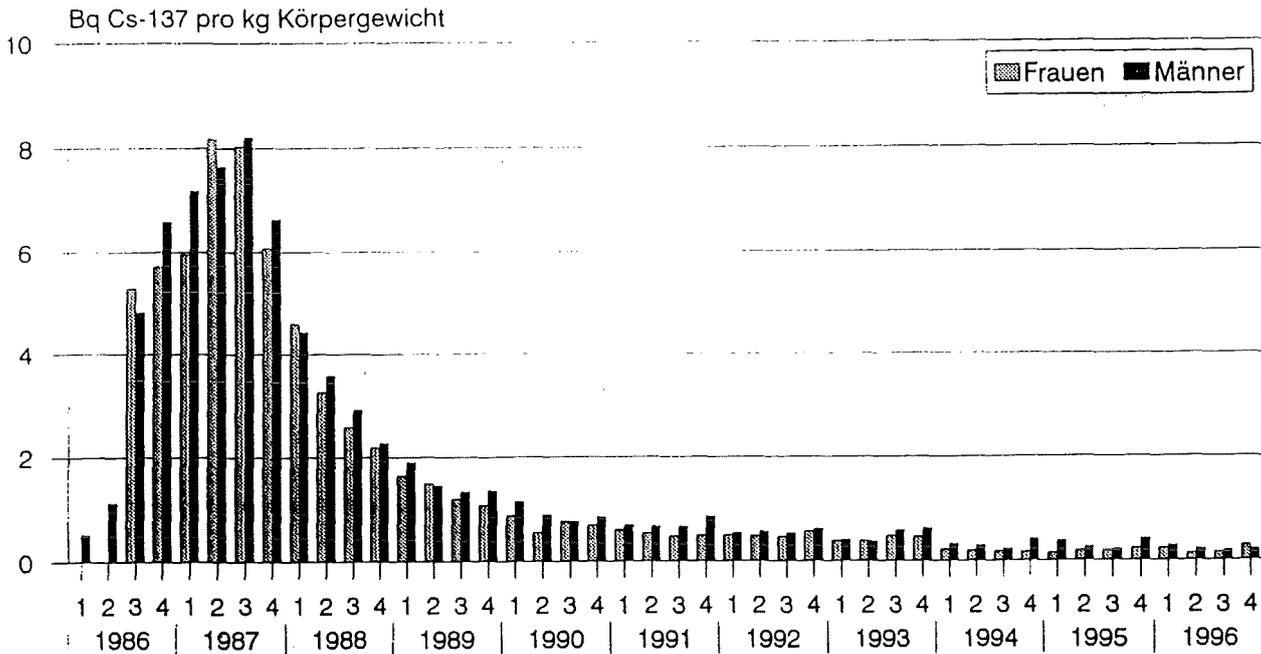


Abb. 4/2: Geschlechtsspezifische Quartalsmittelwerte der Cs-137-Körperaktivität der Karlsruher Referenzgruppe seit 1986

Insgesamt führen die genannten Einflußfaktoren zu einer recht großen Streuung der Einzelwerte. Eine genauere Analyse der Ergebnisse zeigt, daß die 1996 ermittelten Werte der absoluten Cs-137-Körperaktivität sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen in guter Näherung durch logarithmische Normalverteilungen beschrieben werden können. Die geometrischen Mittelwerte der Cs-137-Körperaktivität betragen 17 Bq bei den Männern bzw. 13 Bq bei den Frauen. Die mittleren Schwankungsfaktoren sind mit 2,3 (Männer) und 1,9 (Frauen) bei beiden Geschlechtern ungefähr gleich. Folglich liegt die zivilisatorisch bedingte Cs-137-Körperaktivität bei den Männern in 95 % der Fälle unter 65 Bq, während sie bei den Frauen in 95 % der Fälle unter 40 Bq liegt. Demnach können in Anlehnung an DIN 25 482 die Werte von 65 Bq (Männer) bzw. 40 Bq (Frauen) als Erkennungsgrenzen einer berufsbedingten Cs-137-Körperaktivität angesehen werden.

4.3.1.3 Strahlenpaßstelle

F. Pfeffer

Im Jahr 1996 hatten 143 (Vorjahr 117) von 270 (230) Fremdfirmen mit gültigem Abgrenzungsvertrag Mitarbeiter in Kontrollbereichen des Forschungszentrums Karlsruhe angemeldet. Insgesamt wurden 660 (480) Anmeldungen durchgeführt, wovon 192 (120) Um-

meldungen oder Mehrfach-Anmeldungen waren, d. h. Mitarbeiter von Fremdfirmen, die sich mehrmals im Jahr an- und abgemeldet haben. 70 Anmeldungen wurden mit Bestätigungen im Sinne des § 20 AtG getätigt. Des weiteren wurden 1996 insgesamt 680 Abmeldungen durchgeführt, davon 150 Zwangsabmeldungen aufgrund versäumter ärztlicher Untersuchungen, versäumter anlagenbezogener Belehrungen oder wegen abgelaufener Abgrenzungsverträge.

Im Berichtszeitraum wurden 1 628 (1 457) Strahlenpässe zur Aktualisierung kurzfristig an Fremdfirmen zurückgegeben. In Strahlenpässe wurden 8 140 (7 560) Eintragungen vorgenommen. Mit Stand Dezember 1996 sind insgesamt 1 969 (1 760) Fremdfirmenmitarbeiter in der Datei erfaßt.

4.3.2 Betriebliche Überwachung

K. Burkhard, G. Nagel

4.3.2.1 Filter- und Wischtestmessungen

Im Jahr 1996 wurden im Strahlenschutzmeßlabor 36 900 Raumluftfilter (Vorjahr 36 100) mit Pseudokoinzidenzanlagen auf künstliche α - und β -Aktivität ausgemessen.

Die Luftstaubaktivitäten sind in Tab. 4/8 aufgegliedert. Die Werte 1,25 mBq/m³ für α -Strahler bzw. 0,65 Bq/m³ für β -Strahler sind die unteren Meßschwellen. Die Werte 0,04 Bq/m³ für α -Strahler bzw. 40 Bq/m³ für β -Strahler werden von den Grenzwerten der Jahresaktivitätszufuhr über Luft für Personen der Kategorie A abgeleitet. Ein weiterer Grenzwert ist für α -Strahler 0,8 Bq/m³ bzw. für β -Strahler 800 Bq/m³ (20faches der abgeleiteten Werte), oberhalb dessen Atemschutzisoliergeräte getragen werden müssen. In Abb. 4/3 wird der Verlauf der Häufigkeitsverteilung der Aerosolaktivitätskonzentration oberhalb der Meßschwelle in der Raumlufte relativ zu der im Jahr gemessenen Filteranzahl über die letzten fünf Jahre gezeigt.

Aktivität	Aktivitätsgrenzen in Bq/m ³	Anzahl der Filter	Anteil an der Gesamtzahl in %
α -Aktivität	A > 0,8	210 (176)	0,57 (0,5)
	0,8 \geq A > 0,04	750 (685)	2,03 (1,9)
	0,04 \geq A \geq 0,00125	3 369 (6 410)	9,13 (17,8)
	A < 0,00125	32 571 (28 829)	88,27 (79,8)
β -Aktivität	A > 800	0 (1)	0,00 (0,0)
	800 \geq A > 40	10 (15)	0,02 (0,0)
	40 \geq A \geq 0,65	173 (170)	0,47 (0,5)
	A < 0,65	36 717 (35 914)	99,50 (99,5)

Tab. 4/8: Häufigkeitsverteilung der Aerosolaktivitätskonzentration in der Raumlufte

Mittels α -Spektroskopie wurden im Strahlenschutzmeßlabor sieben Wischtestproben und mittels γ -Spektroskopie 1 018 Proben quantitativ und qualitativ untersucht. Davon entfielen auf Kohlefilter aus der Raumlufteüberwachung 837, auf Glasfaserfilter 30, auf Wischtests 17, auf Sonstiges 11 und auf Dichtheitsprüfungen 123. Mittels Flüssigszintillationsmeßtechnik wurden 1 700 Styropor-Wischtest-Proben auf H-3 untersucht.

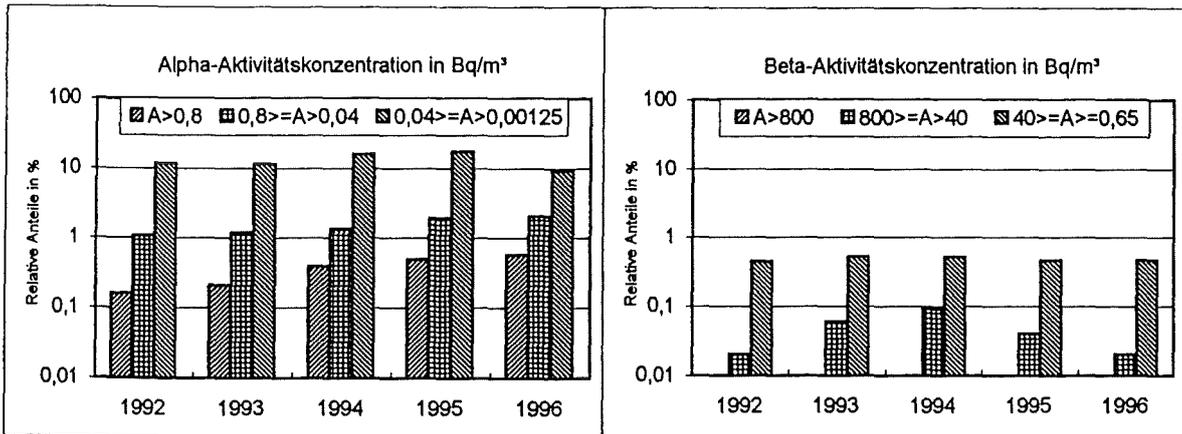


Abb. 4/3: Verlauf der Häufigkeitsverteilung der Aerosolaktivitätskonzentrationen in der Raumluft oberhalb der Meßschwelle

4.3.2.2 Raumluftaktivitätsüberwachung

Die Inkorporationsüberwachung wird gemäß der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle durchgeführt. Danach ist eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung notwendig, wenn nicht auszuschließen ist, daß infolge von inkorporierten Radionukliden jährliche Körperdosen oberhalb 1/10 der Grenzwerte für Personen der Kategorie A auftreten. Diese Bedingungen sind in der Hauptabteilung Dekontamination und beim Rückbau der Anlage PUTE im Teilinstitut Chemisch-Physikalische Verfahren des Instituts für Technische Chemie gegeben. Hier treten insbesondere Transuranelemente auf.

Nach der erwähnten Richtlinie sind für diese Radionuklide tägliche Messungen der Aktivitätskonzentration in der Raumluft am Arbeitsplatz und einmal jährlich je eine Messung der Aktivitätskonzentration in Stuhl und Urin durchzuführen. In der Anlage PUTE wurde abweichend von der Richtlinie die Inkorporationsüberwachung durch wöchentliche Stuhluntersuchungen durchgeführt. Dies war notwendig, weil in hochkontaminierten Räumen, in denen mit Vollschutzanzügen gearbeitet werden muß, die Raumluftaktivitäten nicht repräsentativ für mögliche Inhalationen während des Auskleidevorgangs sind.

Aus den Meßdaten der Aktivitätskonzentration in der Raumluft zwischen der Meßschwelle und dem Interventionswert (vgl. Kap. 4.2.2) werden arbeitsgruppenspezifisch unter Verwendung des jeweils maximalen Aktivitätskonzentrationswertes einer Raumgruppe oder eines Gebäudes die täglichen Aktivitätszufuhren berechnet, zu Monatswerten addiert und zu individuellen effektiven Dosen umgerechnet. Dabei wird sowohl zur Berechnung der Aktivitätskonzentrationen als auch zur Berechnung der Aktivitätszufuhren von einem achtstündigen Arbeitstag ausgegangen. Die Aktivität des β -Strahlers Pu-241 wird aufgrund von langjährigen Messungen des Nuklidvektors als das 20fache der gemessenen gesamten α -Aktivität angenommen.

In Tab. 4/9 sind die auf diese Weise für die verschiedenen Arbeitsgruppen bestimmten effektiven Dosen aufgeführt. Die in den einzelnen Anlagen der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe und der Anlage PUTE sich ergebende Effektivdosis liegt aufgrund von Inkorporationen zwischen 0,0 und 3,4 mSv. Diese Dosiswerte stellen eine obere Abschätzung dar, da sie unter konservativen Annahmen (Berücksichtigung der maximalen Aktivitätskonzentration eines Arbeitstages für die Dauer des gesamten Arbeitstages) ermittelt wurden.

Arbeitsgruppe		Effektivdosis in mSv	
HDB	MAW-Verschrottung	0,0	(0,0)
HDB	Verbrennung	1,8	(1,2)
HDB	Deko fest	0,8	(2,2)
HDB	Deko flüssig	0,4	(0,8)
HDB	Zementierung, Bau 545	0,0	(0,0)
HS-St	HDB Deko flüssig	0,8	(0,8)
HS-St	HDB Deko fest	0,4	(2,2)
ITC-CPV	Bau 724 (PUTE)	3,4	(1,8)

Tab. 4/9: Aus Messungen der Raumluftaktivität berechnete Effektivdosen für Angehörige einer Arbeitsgruppe im Jahr 1996 (Vorjahreswerte in Klammer)

4.3.2.3 Dichtheitsprüfungen

K. Burkhard

Auch 1996 hat die Abteilung Strahlenschutz an umschlossenen Strahlern, die sich im Besitz des Forschungszentrums befinden, Dichtheitsprüfungen durchgeführt. Die Prüfungen erfolgen für sonstige radioaktive Stoffe bis zum $1 \cdot 10^{10}$ fachen der Freigrenzen im Rahmen einer atomrechtlichen Genehmigung der Hauptabteilung Sicherheit, für Kernbrennstoffe im Rahmen der atomrechtlichen Genehmigungen der entsprechenden Institution und einer Bestätigung des Umweltministeriums Baden-Württemberg, daß die Hauptabteilung Sicherheit eine anerkannte Prüfstelle gemäß § 75 Strahlenschutzverordnung ist.

Als Prüfgrundlage dient DIN 25 426 T4. Danach müssen alle umschlossenen Strahler oberhalb des 100fachen der Freigrenze jährlich einer Dichtheitsprüfung unterzogen werden. Für Strahler, die geschützt in Apparaturen eingebaut, nur gelagert oder besonders stabil gebaut sind, können Verlängerungen der Prüf Fristen bei der Aufsichtsbehörde beantragt werden. Als Prüfverfahren werden für die Strahler Wischprüfung, Tauchprüfung oder die Emanationsprüfung angewandt. Die Proben werden je nach Strahlenart im Proportionalzähler (evtl. nach Eindampfung), durch γ -Spektroskopie oder durch Flüssigszintillationsmeßtechnik ausgewertet. Die Anzahl der geprüften Strahler ist in Tab. 4/10 nach Nuklid und Institution sortiert aufgeführt. Im Berichtsjahr wurde kein undichter Strahler gefunden.

	Cs-137	Am-241	Sr-90	Cl-252	Co-60	Ra-226	Np-237	Ni-63	Cd-109	Pu-239	Ba-133	Pm-147	Pb-210	Sm-151 Fe-55 Cm-244	Summe
HDB	18	12	3		3						2	1		1	40
HS-St	9	3	6	2	1		1			3			1		26
FTU	4	4	3	4	1	1			2				1		20
INR		1		2		1	3								7
IK I		4	1											1	6
IK III		5													5
HS/M			3									1			4
ITOX			1		2	1									4
BTI								3							3
HZY			1			1									2
EKM									1						1
HVT-HZ	1														1
IMK		1													1
INFP														1	1
HZY/RTM		1													1
HS/US	1														1
Summe	33	31	18	8	7	4	4	3	3	3	2	2	2	3	123

Tab. 4/10: Anzahl der im Jahr 1996 durchgeführten Dichtheitsprüfungen an umschlossenen Strahlern

4.3.2.4 Programmpflege und -neuentwicklung

G. Nagel

Im Berichtszeitraum wurden die Programme zur Dateiverwaltung von Personendosen (Taschenionisationskammer), Strahlenmeßgeräte, Raumluftaktivität (Aerosole), Oberflächenkontamination, Präparaten und Strahlenpässen aktualisiert.

4.3.3 Biokinetische Untersuchungen

4.3.3.1 Ein empirisches Modell der Ausscheidungsintensivierung durch DTPA

E. Polig, L. Widua (Med. Abt.)

Die Interpretation von Ausscheidungsmessungen und die Abschätzung der zugeführten Aktivität eines Radionuklids wird in der Regel durch eine gleichzeitig durchgeführte Dekorporationstherapie mit DTPA erheblich erschwert. Dies gilt insbesondere für die ersten Wochen nach einer Inkorporation, wenn einerseits durch massive Intervention mit DTPA

die Ausscheidungswerte drastisch erhöht sind, aber trotzdem eine möglichst frühe Abschätzung der Körperaktivität wünschenswert wäre. Um das kinetische Verhalten der Ausscheidungsintensivierung quantitativ zu beschreiben, wurde von Hall und Mitarbeitern (Hall, Poda, Fleming, Smith: Health Physics 34, 419- 431, 1978) ein mathematisches Modell der Plutonium-Ausscheidung unter DTPA-Einfluß entwickelt.

Im folgenden soll ein Modell vorgestellt werden, das unter Beibehaltung einiger Grundgedanken das Hallsche Modell modifiziert und erweitert. Die Änderungen betreffen insbesondere die Beseitigung von mathematischen Vereinfachungen und logischen Ungeheimtheiten, die Berücksichtigung der Stuhlausscheidung, die Erweiterung auf Depots in Eintrittsorganen (Lunge, Wunde), die die Aktivität relativ langsam in das Blut abgeben, und die Annahme eines nicht-kumulativen DTPA-Effektes (Erklärung s. u.).

Bei der Aufnahme der Aktivitätsmenge Q in das Blut zur Zeit $t = 0$ ist die Ausscheidungsrate im Urin $U(t) = Q e(t)$ ($t > 0$). $e(t)$ ist die Ausscheidungsfunktion. Nach ICRP 54 wird für Transurane eine aus fünf Exponentialtermen bestehende Ausscheidungsfunktion empfohlen;

$$e(t) = \sum_{i=1}^5 \alpha_i e^{-\beta_i t}.$$

Wir nehmen an, daß nach der Anwendung eines Chelatbildners zur Zeit t_c die Urinausscheidung durch den Ausdruck

$$U(t) = Q e(t) (1 + a e^{-\lambda(t-t_c)-f_\infty(t_c)}) \quad (1)$$

beschrieben wird. Der Parameter a bestimmt die Erhöhung der Ausscheidung er das normale Niveau, λ ist die Abklingkonstante der Ausscheidungsüberhöhung, $f_\infty(t_c)$ ist die nach unendlicher Zeit vom Chelatbildner entfernte Aktivitätsfraktion. Entsprechend Gleichung (1) setzt sich die Urinausscheidung für $\lambda(t - t_c) \gg 1$ mit $U(t) \approx Q e(t) (1 - f_\infty(t_c))$ fort, d. h. die ursprüngliche Ausscheidungskinetik stellt sich wieder ein, mit einer um den Faktor $(1 - f_\infty(t_c))$ reduzierten Aktivitätsmenge. Die zum Zeitpunkt t ($t > t_c$) vom Chelatbildner entfernte Fraktion $f(t_c, t)$ ergibt sich durch die Integration von Gleichung (1):

$$f(t_c, t) = f_e \int_{t_c}^t e(\tau) (a e^{-\lambda(\tau-t_c)} - f_\infty(t_c)) d\tau \quad (2)$$

Dabei wurde angenommen, daß die Gesamtausscheidung mit dem konstanten Faktor f_e proportional zur Urinausscheidung ist.

Da die obige Beziehung auch für den Grenzwert $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t_c, t) = f_\infty(t_c)$ gelten muß, erhält man daraus eine Bedingung für $f_\infty(t_c)$:

$$f_\infty(t_c) = a f_e \frac{\sum_{i=1}^5 \frac{\alpha_i}{\beta_i + \lambda} e^{-\beta_i t_c}}{1 + f_e \sum_{i=1}^5 \frac{\alpha_i}{\beta_i} e^{-\beta_i t_c}} \quad (3)$$

oder für beliebige Zeiten $t > t_c$:

$$f(t_c, t) = f_e \sum_{i=1}^5 \alpha_i \left(\frac{a}{\beta_i + \lambda} - \frac{f_\infty(t_c)}{\beta_i} \right) (e^{-\beta_i t_c} - e^{-\beta_i t}) \quad (4)$$

In Abb. 4/4 ist $f_\infty(t_c)$ gegen t_c für $a = 50$ und für verschiedene Werte des Abklingparameters λ aufgetragen. Bei gleichzeitiger Gabe des Chelatbildners ($t_c = 0$) kann eine systemische Deposition bei $\lambda = 0,5/d$ zu ca. 50 % und bei $\lambda = 0,2/d$ zu ca. 80 % entfernt werden. Das langsamere Abklingen im zweiten Fall bewirkt natürlich einen stärkeren Effekt. Hall et al. errechnen einen Wert von 59 %, beschreiben jedoch das Abklingverhalten durch zwei Exponentialterme mit den Zeitkonstanten 1,3/d und 0,1/d. Ein einfacher Exponentialterm wurde hier gewählt, da a und λ ebenfalls aus den gemessenen Daten berechnet werden sollen. Bei zwei Termen wären vier statt zwei Parameter zu bestimmen, und damit würde die Zahl der freien Parameter in Anbetracht der Streuung der Meßwerte zu groß. Hall et al. übernahmen die Parameter des Abklingverhaltens aus unabhängigen Bestimmungen der DTPA-Kinetik. Wie Abb. 4/4 zeigt, nimmt die Effektivität des Chelatbildners mit zunehmender Verzögerung der Therapie rasch ab. Dies unterstreicht die auch aus Tierversuchen bekannte Notwendigkeit, möglichst sofort nach einer erkannten Inkorporation mit der Therapie zu beginnen. Bereits nach 20 Tagen können nur noch 3,5 % ($\lambda = 0,5/d$) bzw. 8 % ($\lambda = 0,2/d$) der ursprünglich aufgenommenen Aktivität entfernt werden. Auch wenn man den Ausscheidungseffekt nicht auf die ursprünglich zugeführte, sondern auf die zur Zeit der Therapie vorhandene Menge bezieht, verändert dies die Kurven in Abb. 4/4 nur geringfügig, da mit $f_e = 2$ und der gegebenen Ausscheidungsfunktion nur ca. 5 % in den ersten 100 Tagen ausgeschieden werden.

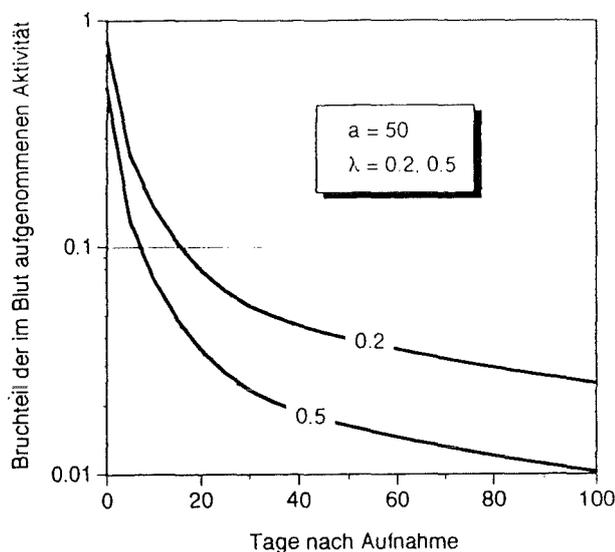


Abb. 4/4: Dekorporierbare Fraktion in Abhängigkeit von der Zeit nach einer einmaligen Zufuhr in das Blut. (a = maximale Ausscheidungsintensivierung, λ = Abklingkonstante der Ausscheidungsintensivierung)

Gleichung (1) kann auf den Fall von n Anwendungen des Chelatbildners erweitert werden. Die Anwendungen seien zu den Zeiten $0 < t_1 < \dots < t_n$. Die Ausscheidungsrate im Urin $U(t)$ ergibt sich dann für $t_n < t$:

$$Q e(t); \quad 0 < t \leq t_1$$

$$U(t) = Q e(t) (1 + e^{-\lambda(t-t_n)} - f_\infty(t_n)); \quad n=1 \quad (5)$$

$$Q e(t) \prod_{i=2}^n (1 - f(t_{i-1}, t_i)) (1 + e^{-\lambda(t-t_n)} - f_\infty(t_n)); \quad n \geq 2$$

Abweichend von Hall et al. bewirkt nur die letzte Anwendung des Chelatbildners eine Ausscheidungsintensivierung, die unabhängig von der Vorgeschichte ist. Die von Hall et al. postulierte Nachwirkung und Kumulation der vorangegangenen Chelatdosen wird in der Realität nicht beobachtet. Bei zwei kurz hintereinander folgenden Chelatdosen müßten sonst Ausscheidungsintensivierungen beobachtet werden, die weit über dem 100-fachen des Basiswertes liegen. Bei schneller Folge der Anwendungen scheint es aber eher eine Abschwächung zu geben. Aus dem Ansatz in Gleichung (1) folgt eine multiplikative Verminderung der Restaktivität über die Faktoren $(1 - f(t_{i-1}, t_i))$. Beim Hallschen Modell ist die Abnahme subtraktiv.

Die Gleichung (5) gilt für eine Aktivitätsmenge Q , die bei $t = 0$ in praktisch unendlich kurzer Zeit dem Blut zugeführt wird. Dies entspricht näherungsweise einer Injektion oder einer Zufuhrgeschwindigkeit, die wesentlich größer ist als alle Transferraten zwischen Körperorganen. Die Zufuhr aus einem Depot, das langsam Aktivität in das Blut abgibt, kann man näherungsweise durch ein Exponentialgesetz $A_D \exp(-\lambda_D t)$ beschreiben. A_D und λ_D sei die Zufuhrrate (Aktivität pro Zeiteinheit) bzw. die Zeitkonstante der Zufuhrrate ($\lambda_D < = > 0$). Eine solche Situation liegt z. B. bei der Inhalation eines Radionuklids vor, wenn ein Aktivitätsdepot in der Lunge existiert. Unter der Annahme, daß alle Transportprozesse zwischen den Körperkompartimenten linear sind, kann die Gleichung (5) durch ein Faltungsintegral auf den Fall eines Depots erweitert werden:

$$U(t) = \left[\sum_{v=1}^{n-1} I(t_{v-1}, t_v) \prod_{i=v}^{n-1} (1 - f(t_i, t_{i+1})) + I(t_{n-1}, t_n) \right] (1 + a e^{-\lambda(t-t_n)} - f_\infty(t_n)) + I(t_n, t)$$

$$0 < t_1 < \dots < t_n < t; t_0 = 0; \quad I(t_{v-1}, t_v) = \int_{t_{v-1}}^{t_v} A_D e^{-\lambda_D \tau} e^{-(t-\tau)} d\tau \quad (6)$$

Für ein Depot, das sehr schnell entleert wird, sind außer $I(0, t_1)$ praktisch alle Integrale ungefähr gleich Null. Durch den Grenzübergang $\lambda_D \rightarrow \infty$ unter Einhaltung der Bedingung $A_D/\lambda_D = Q$ erhält man aus (6) den Ausdruck (5) für die systemische Impulsreaktion.

Abgesehen von den Parametern der Ausscheidungsfunktion (α_i, β_i) ist damit die Ausscheidungskinetik durch die sechs Parameter $Q, A_D, \lambda_D, a, \lambda$ und f_e bestimmt. Fünf davon wurden als freie Parameter durch Optimierung bezüglich der Anpassung an Meßdaten bestimmt. f_e wurde als Mittelwert aus gemessenen Urin/Stuhl-Ausscheidungsverhältnissen vor der Optimierung berechnet. Zur Durchführung der Parameteroptimierung wurde ein FORTRAN-Programm entwickelt, das nach dem Verfahren von Nelder-Mead den Parametersatz mit der besten Anpassung an die gegebenen Meßdaten bestimmt. Das Programm erlaubt die Auswahl verschiedener Zielfunktionen, die Transformation und individuelle Gewichtung von Meßwerten und das "Abschalten" von Meßbereichen. In dem Optimierungsalgorithmus wurde sowohl Gleichung (5) als auch (6) implementiert,

d. h. das Verfahren entscheidet über die Existenz eines Depots oder einer systemischen Impulsaufnahme (oder beides).

Bisher wurden zwei Fälle einer Radionuklid-Inkorporation analysiert. In einem Fall handelt es sich um eine Plutoniumaufnahme durch eine kontaminierte Wunde, im anderen Fall um eine Inhalation von Americium.

Abb. 4/5 zeigt die gemessenen Ausscheidungsraten im Urin (24 h) des Plutoniumfalles. Über einen Zeitraum von 400 Tagen wurden zehn DTPA-Infusionen appliziert. Das Ausscheidungsverhalten entspricht dem "klassischen" Muster, d. h. es gibt eine deutliche und rasch abklingende Ausscheidungsintensivierung nach jeder DTPA-Aufnahme. Im Falle der Americium-Inhalation wird nur eine relativ geringe Ausscheidungsintensivierung beobachtet (Abb. 4/6).

Innerhalb von 250 Tagen wurden 14 DTPA-Dosen verabreicht. Die Urinausscheidung nimmt sehr viel langsamer ab als im Plutoniumfall. Entsprechend erkennt das Optimierungsverfahren ein Depot (Lunge), das mit einer Halbwertszeit von 35 Tagen abklingt. Die aufgenommene Aktivität befindet sich überwiegend in diesem Depot ($Q_D = 3\,500$ Bq). Nur ca. 10 % wurden praktisch sofort nach dem Unfall in das Blut aufgenommen ($Q = 380$ Bq). Die Abschätzung gilt unter der Annahme, daß die Ausscheidungsfunktion mit ICRP 54 übereinstimmt. Im Americium-Fall kann dies bezweifelt werden, da sich die Ausscheidungskinetik und die Ausscheidungsintensivierung durch DTPA völlig atypisch verhalten. Eine gegenüber den Normalwerten wesentlich erhöhte Ausscheidungsrate dieser Person würde eine entsprechend reduzierte Aktivität in den Depots bedeuten.

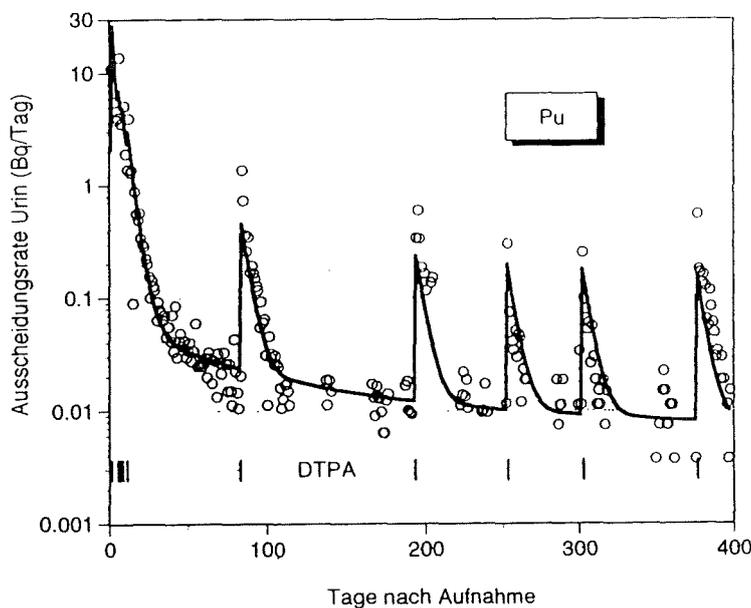


Abb. 4/5: Urinausscheidung (24 h) nach einer Pu-239-Inkorporation durch Wundverletzung. Die durchgezogene Kurve stellt die Modellanpassung dar.

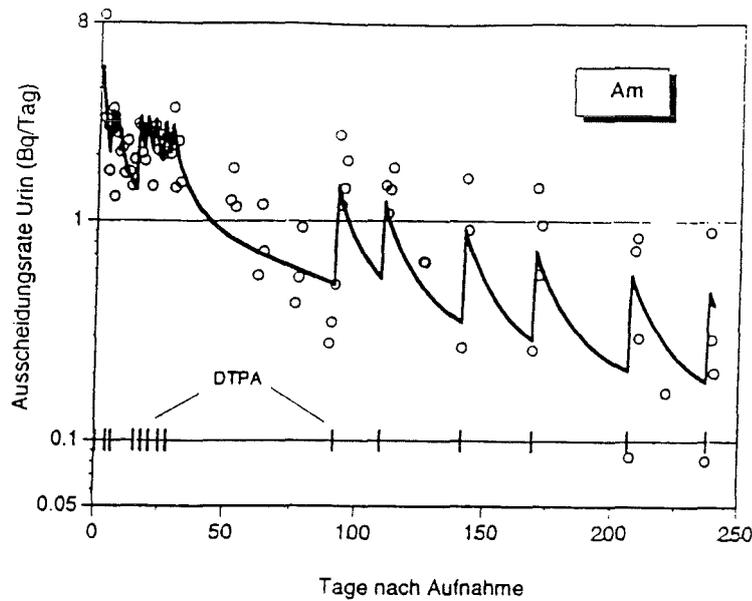


Abb. 4/6: Urinausscheidung (24 h) nach einer Am-241-Inkorporation durch Inhalation. Die durchgezogene Kurve stellt die Modellanpassung dar.

Die Tabelle 4/11 faßt die Ergebnisse zusammen:

	Q Bq	Q _D Bq	A _D Bq/d	λ _D 1/d	a	λ _D 1/d	f _e
Pu	480	-	6,0	9,7	21	0,20	2,4
Am	380	3500	70	0,020	2,0	0,086	1,3

Tab. 4/11: Ergebnisse der Parameteroptimierung bei zwei Inkorporationsfällen mit Pu und Am

Wie die berechneten Kurven in Abb. 4/5 und 4/6 zeigen, tendiert die Parameteroptimierung zu einer Unterschätzung der Ausscheidungsintensivierung für $t > 100$ Tage. Dies ist möglicherweise deshalb so, weil die Größe a nicht konstant ist, sondern von dem Zeitintervall seit der vorhergegangenen DTPA-Gabe abhängt. Wahrscheinlich nimmt a mit diesem Zeitintervall ab. Da in der Regel unmittelbar nach der Inkorporation DTPA-Dosen in rascher Folge gegeben werden, ist a dann am Anfang der Kurve kleiner als später, wenn die Abstände größer werden. Momentan wird jedoch ein mittlerer Wert für den gesamten Bereich bestimmt. Es ist vorgesehen, durch eine detaillierte Auswertung aller Inkorporationsfälle die Abhängigkeit von a vom Therapieintervall quantitativ zu ermitteln.

In beiden Fällen wurde die Möglichkeit einer frühen Abschätzung getestet. Bei Pu wird mit den Meßwerten der ersten 60 Tage eine sofortige systemische Aufnahme von 450 Bq und ein Depot von 27 Bq mit einer Halbwertszeit von 3,7 h errechnet. Dieses Ergebnis ist bereits sehr nahe an der endgültigen Abschätzung. Für Am versagt die frühe Abschätzung völlig. Der Grund dafür ist naheliegend. Da im Am-Fall die überwiegende Aktivität aus einem Depot mit der Halbwertszeit von 35 Tagen stammt, müssen mehrere Halbwertszeiten vergehen, bis die Abnahme dieses Depots kinetisch richtig erfaßt werden kann. Ein Zeitraum von 60 Tagen ist dafür zu kurz.

Die wichtige Frage, welche Reduktion der Körperexposition die DTPA-Applikation schließlich bewirkt hat, kann mit dem Modell ebenfalls beantwortet werden. Wenn $t_n < t$ dann erhält man bei einer systemischen Aufnahme von Q zur Zeit $t = 0$ unter Verwendung von Gleichung (5) für die ausgeschiedene Aktivität $\Delta Q(t)$

$$\Delta Q(t) = \Delta Q(t_n) + f_e Q \prod_{i=2}^n (1 - f(t_{i-1}, t_i)) \int_{t_n}^t e^{-\lambda(\tau - t_n)} (1 + e^{-\lambda(\tau - t_n)} - f_{\infty}(t_n)) d\tau \quad (7)$$

was man auch als

$$\Delta Q(t) = \Delta Q(t_n) + Q (f(t_n, t) + f_0(t_n, t)) \prod_{i=2}^n (1 - f(t_{i-1}, t_i)) \quad (8)$$

schreiben kann. $f_0(t_n, t)$ ist die zwischen t_n und t natürlich, d. h. ohne Einfluß eines Chelatbildners, ausgeschiedene Aktivität. Sie läßt sich leicht durch Integration der Ausscheidungsfunktion berechnen. Zusammen mit Gleichung (2) erhält man für $t = t_{n+1}$ eine Rekursionsbedingung für die Berechnung aller $\Delta Q(t_i)$ und dadurch mit (8) die Möglichkeit, $\Delta Q(t)$ für jedes t zu bestimmen. Eine ähnliche Betrachtungsweise ist im Prinzip auch für den Fall eines Depots (A_D, λ_D) möglich. Die dabei auftretenden Ausdrücke sind jedoch so komplex, daß zur Berechnung keine analytische Form, sondern eine numerische Integration gewählt wurde.

Abb. 4/7 zeigt einen erheblichen Effekt von DTPA im Falle der Pu-Inkorporation. Nach 400 Tagen ist die Gesamtausscheidung ca. 6,5 mal größer als die natürliche Ausscheidung. Der Effekt beruht jedoch vorwiegend auf der Wirkung der ersten fünf Infusionen (elf Tage). Entsprechend der geringen Ausscheidungsintensivierung ist der DTPA-Effekt im Americiumfall wesentlich geringer.

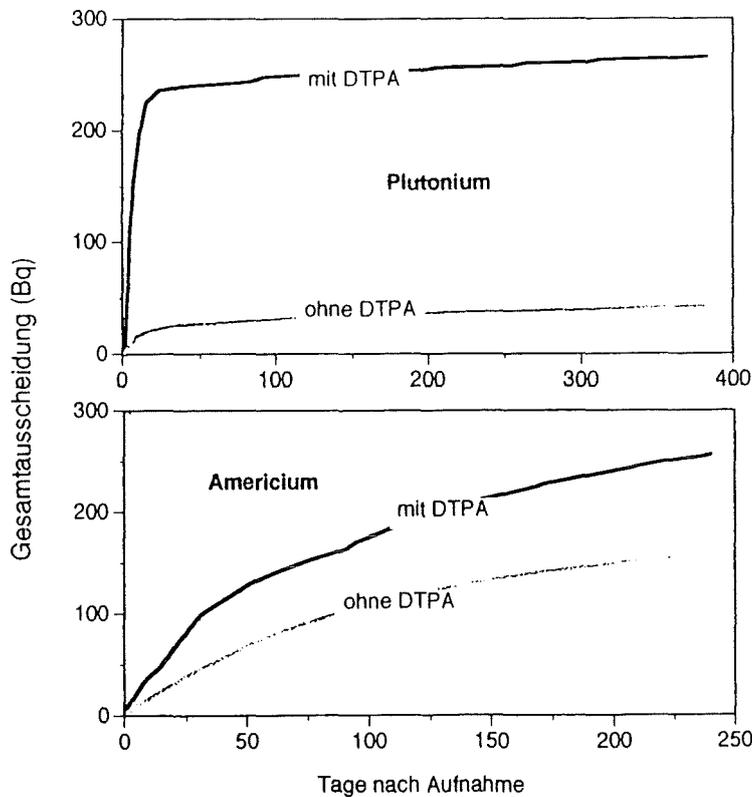


Abb. 4/7: Gesamtausscheidung im Fall der Plutonium- und Americium-Inkorporation, berechnet mit dem Dekorationsmodell

Die Gesamtausscheidung ist nur ca. 1,6 mal größer als die natürliche Ausscheidung. Gemessen an der im Körper verbleibenden Aktivitätsmenge ist die Reduktionswirkung von DTPA nicht erheblich. Da die ausgeschiedene Aktivität hauptsächlich aus einem Depot stammt, sieht man ein langsames Ansteigen der kumulativen Ausscheidung als im Fall von Pu.

4.3.3.2 Interne Dosimetrie mit dem Matrizenkalkül

E. Polig

Das Programm der internen Dosimetrie beinhaltet im wesentlichen die Berechnung der Äquivalentdosen in strahlenempfindlichen Gewebereichen des menschlichen Körpers oder in Versuchstieren. Es besteht aus mehreren Schritten, die sich auf die anfängliche Deposition und die biokinetische Verteilung des aufgenommenen Radionuklids und auf die dosimetrischen Beziehungen zwischen internen Strahlenquellen und empfindlichen Gewebereichen beziehen. Wegen der offensichtlichen Komplexität dieses Programms wurde bisher keine geschlossene mathematische Repräsentation bekannt. Im folgenden soll gezeigt werden, wie mit Hilfe des Matrizenkalküls eine analytische Darstellung der internen Dosimetrie durchgeführt werden kann.

4.3.3.2.1 Biokinetik der Radionuklid-Verteilung

Es ist allgemein üblich, lineare Transportprozesse zwischen einzelnen Kompartimenten anzunehmen. Diese Annahme ist gerechtfertigt, soweit man nicht gegenteilige Informationen hat und eine eventuelle Nicht-Linearität quantitativ charakterisieren kann. Durch die Annahme der Linearität können die Konzepte und Verfahren der linearen Algebra eingesetzt werden. Dies stellt eine wesentliche Vereinfachung in der mathematischen Behandlung dar.

Gemäß der Grundannahme der Kompartimenttheorie kann die Verteilung einer radioaktiven Substanz im Körper durch ein lineares Differentialgleichungssystem beschrieben werden:

$$\frac{dy}{dt} = Ky \quad (1)$$

Der Zustand des Systems wird repräsentiert durch den n-dimensionalen zeitabhängigen Spaltenvektor $\mathbf{y}(t)$. Seine Komponente y_i ($i=1, \dots, n$) gibt die Menge, Aktivität etc. im Kompartiment i an. \mathbf{K} ist die Matrix der Transferkonstanten. Ihre Elemente k_{ij} repräsentieren die (konstante) Transferrate von Kompartiment j zum Kompartiment i . Werden der physikalische Zerfall und der biologische Transport gleichzeitig berücksichtigt, erhält man statt (1):

$$\frac{dy}{dt} = \mathbf{A}y ; \quad \mathbf{A} = \mathbf{K} - \lambda \mathbf{I} ; \quad \mathbf{y}(0) = \mathbf{y}_0 \quad (2)$$

Die Zerfallskonstante des Radionuklids ist λ , \mathbf{I} ist die Einheitsmatrix. Das biokinetische System befinde sich zur Zeit $t = 0$ im Zustand \mathbf{y}_0 (Anfangsbedingung). In vollständiger Analogie zum eindimensionalen Fall ist die Lösung von (2):

$$\mathbf{y}(t) = e^{\mathbf{A}t} \mathbf{y}_0 \quad (3)$$

Anstelle der gewöhnlichen Exponentialfunktion tritt hier die Matrizenexponentialfunktion. Eine allgemeinere Darstellung erhält man, wenn zusätzlich beliebige Aufnahmefunktionen $f(t)$ berücksichtigt werden. Die Komponente f_i des Vektors f gibt die Aufnahme­rate des Radionuklids in Kompartiment i an. Da in linearen Systemen das Superpositionsprinzip gültig ist, kann die allgemeine Lösung als Faltungsintegral von (3) geschrieben werden:

$$\mathbf{y}(t) = e^{\mathbf{A}t} \mathbf{y}_0 + \int_0^t e^{\mathbf{A}(t-\tau)} \mathbf{f}(\tau) d\tau \quad (4)$$

Ist insbesondere $f(t)$ darstellbar durch eine Summe von Exponentialtermen

$$\mathbf{f}(t) = \sum_{i=1}^m \mathbf{f}_i e^{\lambda_i t},$$

dann erhält man durch Einsetzen in (4):

$$\mathbf{y}(t) = e^{\mathbf{A}t} \mathbf{y}_0 + \sum_{i=1}^m (\mathbf{A} - \lambda_i \mathbf{I})^{-1} (e^{\mathbf{A}t} - \mathbf{I} e^{\lambda_i t}) \mathbf{f}_i \quad (5)$$

$(\dots)^{-1}$ stellt die Inverse der Matrix in der Klammer dar. $(\mathbf{A} - \lambda_i \mathbf{I})^{-1}$ existiert für alle λ_i die nicht Eigenwerte von \mathbf{A} sind. Für den Sonderfall konstanter Aufnahme­raten ($f_1 = f$, $m = 1$, $\lambda_1 = 0$) gilt

$$\mathbf{y}(t) = e^{\mathbf{A}t} \mathbf{y}_0 + \mathbf{A}^{-1} (e^{\mathbf{A}t} - \mathbf{I}) \mathbf{f} \quad (6)$$

oder etwas allgemeiner, wenn $f \neq 0$ für $0 < t \leq T$ und $f = 0$ sonst:

$$\mathbf{y}(t) = \begin{cases} e^{\mathbf{A}t} \mathbf{y}_0 + \mathbf{A}^{-1} (e^{\mathbf{A}t} - \mathbf{I}) \mathbf{f} & t \leq T \\ e^{\mathbf{A}t} (\mathbf{y}_0 + \mathbf{A}^{-1} (\mathbf{I} - e^{\mathbf{A}T}) \mathbf{f}) & t \geq T \end{cases} \quad (7)$$

Die Inverse \mathbf{A}^{-1} existiert, wenn die Zerfallskonstante des Radionuklids kein Eigenwert von \mathbf{K} ist. Es sei hier erwähnt, daß auch bei Nicht-Existenz der Inversen \mathbf{A}^{-1} , $(\mathbf{A} - \lambda_i \mathbf{I})^{-1}$ durch Eigenanalyse und Ähnlichkeitstransformation von \mathbf{A} ein etwas komplexerer Matrixausdruck statt (5), (6), (7) gewonnen werden kann.

Die Lösung (5) ist besonders dann von Nutzen, wenn das System \mathbf{A} von einem anderen System \mathbf{L} "angetrieben" wird, das selbst unabhängig von \mathbf{A} ist. Es finden also nur Übergänge von \mathbf{L} nach \mathbf{A} statt, nicht umgekehrt. Dies ist z. B. der Fall bei der Ingestion oder Inhalation von Radionukliden, wo \mathbf{L} die Kompartimente der Lunge oder des Magen-Darm-Traktes repräsentiert. Die Matrix des Gesamtsystems kann dann immer (evtl. durch Umnummerierung) als Blockmatrix auf die Form

$$\begin{pmatrix} \mathbf{L} & \mathbf{0} \\ \mathbf{Q} & \mathbf{A} \end{pmatrix} \quad (8)$$

gebracht werden. Das Subsystem \mathbf{L} kann separat gelöst und die Lösung als Summe von Exponentialtermen ausgedrückt werden. Damit ist die Voraussetzung gegeben, um die Lösung (5) anzuwenden. Kompartimentsysteme der Form (8) nennt man reduzierbar.

4.3.3.2.2 Radionuklid mit Tochter

Eine besondere Form eines reduzierbaren Systems ist das Mutter-Tochter-System. Wir haben hier als Systemmatrix

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{0} \\ \lambda \mathbf{I} & \mathbf{A}_D \end{pmatrix} \quad (9)$$

mit $\mathbf{A}_D = \mathbf{K}_D - \lambda_D \mathbf{I}$ als Systemmatrix für das Tochnuklid. Allgemein ist die Gesamtsystemmatrix für eine Zerfallsreihe mit den Zerfallsprodukten D_i :

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \cdot \\ \lambda \mathbf{I} & \mathbf{A}_{D1} & \mathbf{0} & \cdot \\ \mathbf{0} & \lambda_{D1} \mathbf{I} & \mathbf{A}_{D2} & \cdot \\ \cdot & \cdot & \lambda_{D2} \mathbf{I} & \cdot \end{pmatrix} \quad (10)$$

Der Gesamtzustandsvektor des Mutter-Tochter-Systems ist dann

$$\bar{\mathbf{y}}(t) = \begin{pmatrix} \mathbf{y} \\ \mathbf{y}_D \end{pmatrix}$$

bzw.

$$\bar{\mathbf{y}}(t) = \begin{pmatrix} \mathbf{y} \\ \mathbf{y}_{D1} \\ \mathbf{y}_{D2} \end{pmatrix},$$

wobei \mathbf{y} , \mathbf{y}_{D_i} die Zustandsvektoren der Mutter- bzw. Tochnersysteme sind. Die Berechnung der Kompartimentinhalte nach (5) oder (6) und (7) erfolgt in der gleichen Weise wie für ein einzelnes Radionuklid, indem \mathbf{y} durch $\bar{\mathbf{y}}$ und \mathbf{A} durch die Matrix (9) oder (10) ersetzt werden. Es sei hier bemerkt, daß keinerlei Einschränkungen erforderlich sind. Insbesondere kann auf die von der ICRP propagierte Annahme eines identischen biokinetischen Verhaltens von Mutter und Tochter ($\mathbf{K} = \mathbf{K}_D$) verzichtet werden.

4.3.3.2.3 Dosimetrie

Die Zerfallsrate (Zerfälle pro Zeiteinheit) in dem Kompartimentsystem mit dem Zustandsvektor $\mathbf{y}(t)$ ist:

$$\frac{dU_c}{dt} = c \lambda \mathbf{y}(t) \quad (11)$$

c ist ein Umwandlungsfaktor, der die Mengeneinheit des Kompartimentsystems in die Zahl der Atome umwandelt. Wenn \mathbf{y} bereits in Bq gegeben ist, kann $c = 1$ gewählt werden, oder der Faktor ist eine dimensionslose Größe, die lediglich auf die gewünschte Zeitskala transformiert. Die Zahl der Transformationen ergibt sich dann durch Integration von (11) unter Verwendung von (5) oder (6) und (7). Für eine einmalige Aufnahme von \mathbf{y}_0 zur Zeit $t = 0$ ist

$$U_c(t) = c \lambda \mathbf{A}^{-1} (e^{At} - \mathbf{I}) \mathbf{y}_0 \quad (12)$$

und für eine konstante Zufuhr \mathbf{f} während der Zeit $0 \leq t \leq T$

$$U_c(t) = \begin{cases} c\lambda(\mathbf{A}^{-1})^2 (e^{At} - \mathbf{A}t - \mathbf{I})\mathbf{f} & 0 \leq t \leq T \\ c\lambda(\mathbf{A}^{-1})^2 (e^{At} (\mathbf{I} - e^{-AT}) - \mathbf{A}T)\mathbf{f} & T \leq t \end{cases} \quad (13)$$

Da das Radionuklid zerfällt, muß es bei einmaliger Zufuhr nach beliebig langen Zeiten in dem Kompartimentsystem verschwinden, d. h. wegen

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{y}(t) \rightarrow \mathbf{0}$$

und (3) gilt

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{At} \rightarrow \mathbf{0}.$$

Damit erhält man aus (12) und (13) die einfachen Beziehungen:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} U_c(t) = \begin{cases} -c\lambda\mathbf{A}^{-1} \mathbf{y}_0 & \text{einmalige Zufuhr von } \mathbf{y}_0 \text{ bei } t=0 \\ -c\lambda\mathbf{A}^{-1} \mathbf{f} T & \text{konstante Zufuhrrate } \mathbf{f} \text{ während } 0 \leq t \leq T \end{cases} \quad (14)$$

Das Produkt $\mathbf{f}T$ ist die gesamte zugeführte Radionuklidmenge. Aus (14) kann man deshalb entnehmen, daß für Zeiten, die groß sind verglichen mit dem Zeitintervall T der Radionuklidaufnahme, die Zahl der Zerfälle sich praktisch wie bei einer einmaligen Zufuhr verhält. Die Grenzwerte (14) berücksichtigen nicht die Lebensdauer des Individuums. Bei sehr langsamer Kinetik und kleiner Zerfallskonstante (\mathbf{K} , λ klein) bleibt U_c möglicherweise weit unterhalb des Grenzwertes.

Für die Zwecke der internen Dosimetrie muß man zwischen Kompartimenten, Quellen und strahlenempfindlichem Gewebe unterscheiden. Im allgemeinsten Fall hat man n Kompartimente, q Strahlenquellen (Quellbereiche) und p strahlenempfindliche Gewebe. Zunächst wird die Matrix der spezifischen effektiven Energie \mathbf{S}_{ee} gebildet:

$$\mathbf{S}_{ee} = \mathbf{E} \mathbf{w} \mathbf{M}^{-1} \mathbf{AF}(E) \quad (15)$$

\mathbf{M}^{-1} ist die Inverse der Diagonalmatrix \mathbf{M} , die aus den p Massen der strahlenempfindlichen Gewebe besteht:

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} m_1 & & \\ & \cdot & \\ & & m_p \end{pmatrix} \quad (16)$$

$\mathbf{AF}(E)$ ist die Matrix der absorbierten Energiefraktionen, d. h. das Element \mathbf{AF}_{ij} gibt an, welcher Bruchteil der im Quellbereich j emittierten Energie E im Gewebe i absorbiert wird. Die Matrix \mathbf{AF} hängt ab von Energie und Art der Strahlung. w ist der Strahlenwichtungsfaktor, früher "relative biologische Wirksamkeit" genannt. Wenn mehrere Zerfallskanäle existieren, dann ergibt sich die Matrix \mathbf{S}_{ee} als Summation über die konkurrierenden Zerfallsarten:

$$\mathbf{S}_{ee} = \mathbf{M}^{-1} \sum_R \mathbf{E}_R \mathbf{Y}_R \mathbf{w}_R \mathbf{AF}_R(E) \quad (17)$$

Dabei ist \mathbf{Y}_R die Wahrscheinlichkeit für den Zerfallskanal R .

Der p -Vektor der Äquivalentdosen in den strahlenempfindlichen Bereichen (\mathbf{H}_T) wird durch Multiplikation der Matrix \mathbf{S}_{ee} mit dem q -dimensionalen Vektor der Zerfälle in den q Quellregionen (\mathbf{U}_S) berechnet:

$$\mathbf{H}_T = \mathbf{S}_{ee} \mathbf{U}_S \quad (18)$$

Um eine Verbindung zwischen \mathbf{U}_S und \mathbf{U}_C in (11), (12), (13) herzustellen, ist zu beachten, daß Quellregionen und biokinetische Kompartimente nicht identisch sein müssen. Oft sind zum Zweck der möglichst genauen kinetischen Modellierung mehr Kompartimente nötig, als für die Dosimetrie Quellregionen definiert sind. Beispielsweise sind für Pu-239 gemäß ICRP 30 lediglich die Quellregionen Gonaden, Lunge, Inhalt des oberen und unteren Darmtraktes, Leber, kortikales und trabekuläres Skelett definiert. Das gesamte biokinetische Modell für Pu-239 besteht jedoch einschließlich Lunge und Magen-Darm-Trakt aus mehr als 30 Kompartimenten (ICRP 30, ICRP 66, ICRP 67). In der Regel werden biokinetische Kompartimente durch Addition zu einer Quellregion zusammengefaßt. Dies ist eine lineare Operation, die durch eine (q,n) -Matrix \mathbf{T} charakterisiert werden kann:

$$\mathbf{U}_S = \mathbf{T} \mathbf{U}_C \quad (19)$$

Soll z. B. die Zahl der Zerfälle in der Quellregion k gleich sein der Summe von Kompartiment i und j , dann würde \mathbf{T} folgendermaßen aussehen:

$$k - \begin{pmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & 1 & \cdot & 1 & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix} \quad (20)$$

Verallgemeinert bedeutet dies, wenn die Summe der m Kompartimente i_1, \dots, i_m zu den Zerfällen in der Quelle k beitragen, sind die Matrixelemente $T_{ki_1}, \dots, T_{ki_m}$ gleich eins. Entsprechend ist bei gewichteten Summen statt eins das jeweilige Gewicht einzusetzen.

Bei Verwendung von (12), (13), (18), (19) kann damit der Vektor der Äquivalentdosen direkt in einem Matrixausdruck dargestellt werden. Für die einmalige Zufuhr erhält man z. B.:

$$H_T(t) = c\lambda S_{ee} T A^{-1} (e^{At} - I) y_0 \quad (21)$$

Dieser Ausdruck hat bis auf die Konstanten $c\lambda$ die einfache Struktur $H_T \sim S_{ee} T B Q$, wobei der Vektor Q Menge und Art der Radionuklidaufnahme, B das biokinetische Verhalten und den physikalischen Zerfall, T die Zuordnung der Kompartimente zu den Quellregionen und S_{ee} die dosimetrischen Relationen zwischen Quellen und empfindlichen Geweberegionen charakterisieren. Meistens wird nur B als zeitabhängig betrachtet. S_{ee} kann bei Wachstumsprozessen zeitabhängig sein, wenn Größe und relative Lage der inneren Organe sich ändern. Jeder der drei Schritte in der internen Dosimetrie wird also durch eine Matrix repräsentiert. Die Berechnung von H_T ist damit auf eine einfache Folge von Matrizenmultiplikationen zurückgeführt.

Die Verwendung des Matrizenkalküls in der internen Dosimetrie ist nicht nur eine Frage der mathematischen Ästhetik, sondern sie hat auch große praktische Vorteile. Zum Beispiel ist bei der Berechnung der 50-Jahre-Folgeäquivalentdosis nach (21) $H_T = G_{50} y_0$. Die Matrix G_{50} muß nur einmal nach

$$G_{50} = c\lambda S_{ee} T A^{-1} (e^{At} - I); \quad t = 50 \text{ Jahre} \quad (22)$$

berechnet werden. Wenn A die Lunge und den Magen-Darm-Trakt einschließt, ergeben sich die Folgeäquivalentdosen durch einfache Matrizenmultiplikation $G_{50} y_0$ für die verschiedenen Aufnahmearten Ingestion, Wunde, Inhalation, da sich lediglich der Aufnahmevektor y_0 ändert. Für die Inhalation kann ebenso H_T sofort für verschiedene Teilchengrößen des Aerosols berechnet werden, da auch dieser Parameter nur y_0 beeinflusst.

4.3.4 Sonstige Untersuchungen

4.3.4.1 Entwicklung einer kompakten Gamma-Kamera mit Bohrloch-Szintillationskristall und Pinhole-Kollimator

H. Doerfel

Bei der Untersuchung unklarer Aktivitätsverteilungen im Körper können bildgebende Verfahren auch im Bereich der Inkorporationsüberwachung sehr hilfreich sein. So können beispielsweise Lungen- und Lymphknotendepositionen mit einer Gamma-Kamera prinzi-

piell wesentlich besser voneinander unterschieden werden als mit den bisher praktizierten Verfahren. Auch können äußere Kontaminationen besser erkannt und Wunddepositionen leichter lokalisiert werden. Allerdings sind die herkömmlichen Gamma-Kameras relativ groß, so daß sie in den beengten Verhältnissen einer Abschirmkammer kaum eingesetzt werden können. Außerdem sind sie im allgemeinen nicht aus aktivitätsarmen Materialien hergestellt, und im übrigen sind sie auch relativ teuer.

Aus diesem Grund wurde eine neuartige Gamma-Kamera vorgeschlagen, die bei gleicher Empfindlichkeit und gleichem räumlichen Auflösungsvermögen wesentlich kompakter als die herkömmlichen Gamma-Kameras ist. Bei dieser neuartigen Kamera wird das Objekt nicht wie bei der Anger-Kamera auf einen ebenen Kristall, sondern auf die Innenseite eines zylindrischen Bohrlochkristalls abgebildet. Bei dieser Bauweise ist die Stirnseite der Kamera bei gleicher Abbildungsfläche kleiner als bei einer planaren Kamera. Folglich ist auch der Kollimator kleiner, so daß die Kamera bei gleichem Öffnungswinkel näher an das Objekt herangebracht werden kann. Dies ist insbesondere bei kleinen Objekten wie der Schilddrüse oder einer Wunde von großer Bedeutung.

Nach eingehenden Voruntersuchungen wurde im Rahmen eines Vorlaufprojektes in Zusammenarbeit mit der Firma Scionix Holland ein Prototyp für die neue Kamera hergestellt. Kernstück der Kamera ist ein zylindrischer NaI(Tl)-Bohrlochkristall, dessen Außenmantel sechskantig angeschliffen ist (Abb. 4/8).

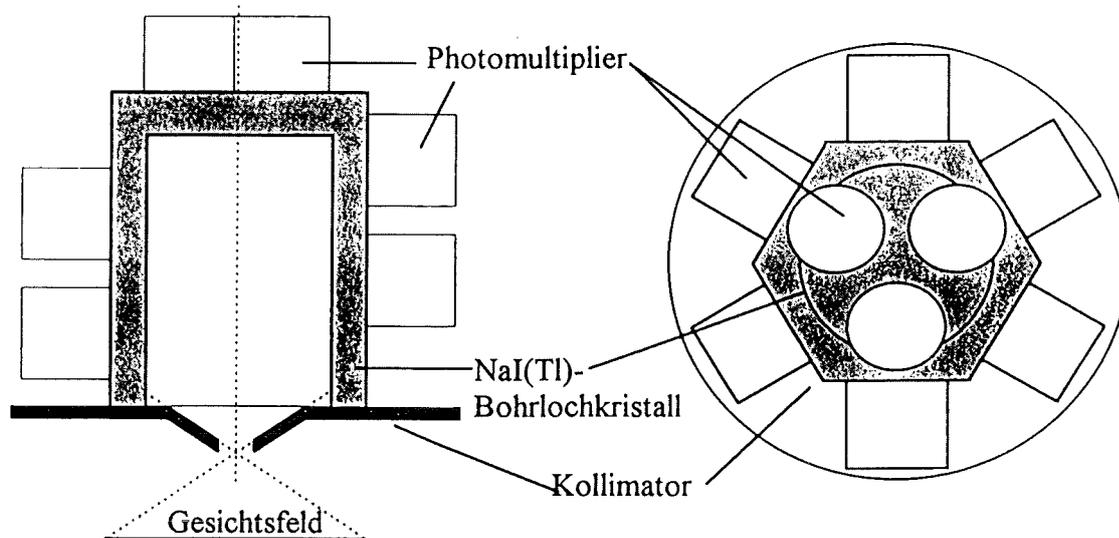


Abb. 4/8: Prinzipieller Aufbau der Gamma-Kamera mit Bohrlochkristall und Pinhole-Kollimator (Schnittbild und Draufsicht)

Das Bohrloch hat einen Durchmesser von 95 mm und eine Tiefe von 165 mm. Die Wandstärke des Bohrlochkristalls ist so gering wie herstellungstechnisch möglich (15 bis 20 mm). An den angeschliffenen Außenwänden des Kristalls befinden sich jeweils zwei übereinander angeordnete Photomultiplier mit einem Durchmesser von 58 mm. Zur Erzielung eines möglichst guten räumlichen Auflösungsvermögens sind die Photomultiplier gruppenweise in der Höhe gegeneinander versetzt. Auf der Oberseite des Kristalls befinden sich drei weitere Photomultiplier, die achsensymmetrisch jeweils über denjenigen Kristallsegmenten angeordnet sind, bei denen die Photomultiplier an der Außenseite jeweils nach unten versetzt sind. Damit wird für nahezu alle Raumpunkte im Kristallvolumen eine 2π -Abdeckung mit Photomultipliern erzielt. Nach unten wird der Kristall von ei-

nem Pinhole-Kollimator abgeschlossen, der im Bereich des Bohrlochs kegelförmig ausgewölbt ist. Im Zentrum des Kollimators befindet sich eine Blende mit einem Durchmesser von etwa 2 mm. Das Gesichtsfeld hat einen Öffnungswinkel bis zu etwa 120°.

Die Strahleneinfallrichtung wird wie bei einer herkömmlichen planaren Pinhole-Kamera durch die vom Ort der Szintillation und vom Mittelpunkt der Kollimatorblende definierte Gerade bestimmt. Die Bestimmung des Szintillationsortes erfolgt dabei durch einen Vergleich der von den verschiedenen Photomultipliern registrierten Lichtintensitäten. Dabei kann - im Gegensatz zur herkömmlichen Pinhole-Kamera - prinzipiell eine dreidimensionale Bestimmung des Szintillationsortes durchgeführt werden. Dies ermöglicht insbesondere bei großen Einfallswinkeln prinzipiell eine genauere Bestimmung der Strahleneinfallrichtung als bei einer planaren Pinhole-Kamera. Allerdings kann bei der neuen Kamera der Szintillationsort nicht nach dem relativ einfachen Widerstandsmatrix-Verfahren von Anger bestimmt werden, sondern es müssen für jedes Szintillationsereignis die Impulshöhen aller Photomultiplier explizit bestimmt werden. Dies erfordert eine vergleichsweise aufwendige Meßelektronik (Abschn. 4.3.4.2).

4.3.4.2 Aufbau und Test einer Elektronik für eine kompakte Gamma-Kamera mit Bohrloch-Szintillationskristall und Pinhole-Kollimator

J. Steeg, H. Doerfel, B. Reinhardt

Im Rahmen einer Studien- und Diplomarbeit der Berufsakademie Karlsruhe wurde eine Meßelektronik zum Betrieb der in Abschn. 4.3.4.1 beschriebenen kompakten Gamma-Kamera entwickelt und gebaut. Die Elektronik hat die Aufgabe, für jedes Szintillationsereignis die Höhe der Impulse am Ausgang der Vorverstärker aller 15 Photomultiplier simultan zu messen und die digitalisierten Werte zur weiteren Bearbeitung in einem Rechner abzulegen. Dieser Vorgang sollte möglichst schnell ablaufen, damit auch die im Bereich der nuklearmedizinischen Diagnostik auftretenden hohen Impulsraten noch verarbeiten zu können.

Zur Lösung dieser Aufgabe wurden die folgenden Komponenten verwendet:

- eine Hauptverstärkereinheit mit 16 Ein- und Ausgängen, die eine bis zu 200fache Verstärkung der Ausgangssignale der Vorverstärker ermöglicht,
- vier vierfach Sample-and-Hold-Verstärker, die die 15 koinzidenten Meßsignale zum gleichen Zeitpunkt speichern und für die Dauer der Analog-Digital-Wandlung konstant halten,
- 16 Triggerstufen, die ein Digitalsignal erzeugen, sobald ein Meßsignal die maximale Amplitude erreicht hat,
- eine Digitalstufe, die die Zeitsteuerung zwischen den Triggerstufen, den Sample-and-Hold-Verstärkern und der Multi-I/O-Karte im Computer übernimmt,
- eine Multi-I/O-Karte, die die Digitalisierung der 15 Eingangssignale durchführt.

Außerdem wurden drei Netzteile für die Spannungsversorgung der einzelnen Komponenten und drei Hochspannungsentkopplungsschaltungen für die Hochspannungsversorgung der 15 Photomultiplier gebaut.

Die aus diesen Komponenten aufgebautete Meßelektronik arbeitet folgendermaßen: Die in den 15 Hauptverstärkern verstärkten Signale werden auf die Eingänge der Sample-and-Hold-Verstärker und auf die Triggerelektronik geschaltet. Die Triggerelektronik analysiert die Signale auf das Erreichen des Impulsmaximums. Sobald eines der 15 Signale das Impulsmaximum erreicht hat, wird ein Digitalsignal erzeugt. Dieses Digitalsignal schaltet die Sample-and-Hold-Verstärker in den Hold-Modus um, d. h. die in diesem Moment an den 15 Eingängen anliegenden Spannungen werden jeweils gespeichert.

Außerdem wird durch dieses Digitalsignal auch der Einlese- und Digitalisierungsprozeß im Rechner ausgelöst. Nachdem der Digitalisierungsvorgang beendet ist, wird vom Rechner ein Digitalsignal erzeugt, das die Sample-and-Hold-Verstärker in den Sample-Modus zurückschaltet und die Triggerelektronik wieder aktiviert. Auf diese Weise wird gewährleistet, daß die Meßelektronik während der Digitalisierungsphase inaktiv für neu auftretende Impulse ist. Die digitalisierten Impulshöhen können im Rechner mit Hilfe einer speziellen Software (LabView) weiter verarbeitet werden. So können die koinzidenten Impulse jeweils addiert und zu einem Impulshöhenspektrum aufbereitet werden. Anhand dieses Impulshöhenspektrums können dann diejenigen Szintillationsereignisse identifiziert werden, die auf Vollabsorption der interessierenden Strahlung zurückzuführen sind. Im nächsten Schritt kann dann für jedes dieser Szintillationsereignisse durch einen Vergleich der 15 Einzelsignale der Ort der Szintillation im NaI(Tl)-Kristall und damit die Einfallsrichtung des auslösenden Photons ermittelt werden.

4.3.4.3 Untersuchungsvorhaben "Verbesserung der Meßverfahren bei Ganz- und Teilkörperzählern"

J. Steeg, H. Doerfel

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Untersuchungsvorhabens sollen die Meßverfahren bei Ganz- und Teilkörperzählern verbessert werden. Im Vordergrund steht dabei die Kalibrierung dieser Meßeinrichtungen. In der Bundesrepublik Deutschland gibt es über vierzig Ganz- und Teilkörperzähler, die mit teilweise sehr unterschiedlichen Methoden kalibriert werden. Um den in der neuen Richtlinie über Anforderungen an Inkorporationsmeßstellen definierten Kriterien gerecht zu werden, ist eine Präzisierung und Vereinheitlichung der Kalibrierverfahren erforderlich.

Besonders schwierig ist die Kalibrierung für niederenergetische Photonenstrahler (z. B. Pb-210, U-235, Th-234, Am-241) sowie für reine Betastrahler (z. B. Sr-90), die nur über die Bremsstrahlung gemessen werden können. Erschwerend kommt hinzu, daß die Aktivitätsverteilung gerade dieser Strahler im Körper im allgemeinen sehr inhomogen ist. Die hieraus resultierenden Kalibrierprobleme können auch mit hochentwickelten Phantomen nicht vollständig gelöst werden, so daß eine genaue Bestimmung der Kalibrierfaktoren im Einzelfall nur mit Hilfe mathematischer Verfahren möglich ist.

Im Rahmen des auf eine Laufzeit von drei Jahren angelegten Untersuchungsvorhabens soll die Kalibrierung mit Hilfe von mathematischen Verfahren so optimiert werden, daß die mit Standardphantomen bestimmten Kalibrierfaktoren rechnerisch an beliebige Detektoranordnungen sowie an alle im Einzelfall vorliegenden Körperproportionen und Nuklidverteilungsmuster angepaßt werden können. Darauf aufbauend soll ein allgemeines rechnergestütztes Kalibrierverfahren bereitgestellt werden, das eine einheitliche Kalibrierung aller Ganz- und Teilkörperzähler ermöglicht.

Das Vorhaben gliedert sich in vier Phasen. In der Vorbereitungsphase werden im Rahmen einer Literaturrecherche die bisher angewandten mathematischen Kalibrierverfahren zusammengestellt und in Hinblick auf ihre praktische Anwendbarkeit insbesondere bei inhomogenen Nukliddepositionen genauer untersucht. Darauf aufbauend wird in der zweiten Phase ein Verfahren zur Berechnung des Ansprechvermögens von beliebigen Detektoranordnungen für beliebige Nukliddepositionen in einem Phantom bzw. im menschlichen Körper entwickelt. In der dritten Phase wird das Verfahren anhand von Phantommessungen experimentell überprüft. Auf der Basis der hierbei gewonnenen Erfahrungen wird das Verfahren soweit optimiert, daß die berechneten Kalibrierfaktoren für alle im Forschungszentrum Karlsruhe vorhandenen Phantome mit den gemessenen Werten übereinstimmen. Danach soll das Verfahren auch bei externen Meßeinrichtungen überprüft werden. In der letzten Phase soll dann ein allgemeines Verfahren entwickelt werden, das die rechnerische Kalibrierung von beliebigen Detektoranordnungen an-

hand von Normierungsmessungen mit einfachen Standardpräparaten ermöglicht.

Im Berichtszeitraum konnte die Literaturrecherche zur Vorbereitung des Vorhabens weitgehend abgeschlossen werden. Die in der Literatur verfügbaren Kalibrierverfahren basieren größtenteils auf Transportrechnungen nach der Monte-Carlo-Methode sowie in einzelnen Fällen auch auf der Entwicklung von halbempirischen Wirkungsgradfunktionen. Die Monte-Carlo-Codes benutzten anfangs wegen der begrenzten Rechenkapazität noch relativ einfache mathematische Phantome. In jüngster Zeit werden auch komplexere Phantomstrukturen benutzt, die teilweise auf Kernspin-Tomographie-Aufnahmen basieren. Einen guten Lösungsansatz für die vorliegende Aufgabenstellung bietet ein im Lawrence Livermore National Laboratory entwickeltes Verfahren, bei dem die von einem Kernspin-Tomographen ermittelten Daten der Phantom- bzw. Organ/Gewebe-Strukturen direkt in ein Monte-Carlo-Simulationsprogramm eingelesen werden.

4.3.4.4 Vorhaben zur Markteinführung und zur klinischen Erprobung des INDOS-Detektorsystems

H. Doerfel, I. Hofmann, F. Stelzig, A. Zieger

Im Rahmen des Vorhabens zur Markteinführung und zur klinischen Erprobung des INDOS-Detektorsystems wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Silena der erste Serientyp des Detektorsystems entwickelt. Die Entwicklungsarbeiten konzentrierten sich in erster Linie auf die Reduzierung der Herstellungskosten. Durch Verwendung vorgefertigter mechanischer Komponenten sowie durch den Einsatz integrierter elektronischer Systeme zur Impulsverarbeitung war es möglich, den Marktpreis für den Serientyp unter 130 000 DM zu senken. Weitere Arbeiten dienten der Optimierung der Meßgeometrie für unterschiedliche Körperproportionen sowie der Entwicklung einer Software für den Routinebetrieb des Detektorsystems.

Zur klinischen Erprobung soll der erste Serientyp im März 1997 im Städtischen Klinikum Karlsruhe installiert werden. Die Erprobung umfaßt die folgenden vier Untersuchungsphasen:

- Pilotstudie im Bereich der Strahlenschutzüberwachung (März 1997 bis Februar 1998),
- Untersuchungen zur Diagnostik des Eisen- und Kalzium-Stoffwechsels (März 1997 bis Dezember 1998),
- Dosismessungen an Therapiepatienten (Juni 1997 bis Dezember 1998),
- Untersuchungen zur Dosimetrie von Radiopharmaka (Juni 1997 bis Dezember 1998).

4.4 Strahlenschutzmeßtechnik

4.4.1 Aufgaben

B. Reinhardt

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 Strahlenschutz betreut wird, setzt sich aus einer großen Anzahl von Dosisleistungs- und Kontaminationsmonitoren, aus Meßplätzen zur Aktivitätsbestimmung und den ortsfesten Anlagen zur Pegel- und Luftüberwachung zusammen.

Die Funktionstüchtigkeit der Geräte und Anlagen wird vom Personal der Arbeitsplatz-

überwachung regelmäßig, meist täglich, überprüft. Regelmäßig wiederkehrende Prüfungen nach Prüfanweisung werden gemäß den in einem Prüfplan festgelegten Anforderungen durch das Personal der Arbeitsplatzüberwachung, durch Sachkundige einer Service-Firma oder durch hinzugezogene Sachverständige durchgeführt. Bei der Instandhaltung der Strahlenschutzmeßgeräte fallen folgende Aufgaben an:

- Kalibrierung tragbarer Dosisleistungsmeßgeräte,
- Mitarbeit bei der Eichung von Dosisleistungsmeßgeräten und Dosimetern durch die amtliche Eichabfertigungsstelle,
- Bestrahlung von Dosimetern zur Kalibrierung von Auswertegeräten,
- Bestrahlung von Dosisleistungsmeßgeräten und Dosimetern zur Eichfristverlängerung,
- Reparatur und Kalibrierung der Pegel- und Luftüberwachungsanlagen in den Instituten und Abteilungen des Forschungszentrums und in der Umgebung,
- Reparatur sonstiger elektronischer Geräte,
- Erstellung von Prüfanweisungen.

Außerdem werden Eingangskontrollen neu beschaffter Geräte durchgeführt und gelegentlich auch die Eigenschaften von neuen Detektoren und Geräten untersucht. Die in der Praxis gewonnenen Erfahrungen stehen für die Beschaffung und Installation von Geräten und Überwachungsanlagen zur Verfügung. Schließlich werden auch Umbauten und Anpassungen von Geräten vorgenommen und kommerziell nicht erhältliche Geräte für den Eigenbedarf der Hauptabteilung Sicherheit entwickelt.

4.4.2 Meßtechnik nichtionisierender Strahlung

N. Liebe

Umstrukturierungsmaßnahmen führten dazu, daß das Arbeitsfeld der Strahlenschutzmitarbeiter erweitert wurde. Neben den weiterhin notwendigen strahlenschutzrelevanten Messungen vor Ort müssen nun auch Felder nichtionisierender Strahlung, wie z. B. Mikrowellenfelder, ausgemessen werden. Da die konventionelle Arbeitsplatzüberwachung und die damit verbundene Meßtechnik für unsere Mitarbeiter Neuland darstellt, wurde ein entsprechender Einführungskurs an der Universität Karlsruhe absolviert.

Der Belastung des menschlichen Organismus durch elektrische und magnetische Felder muß zunehmend mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden, da inzwischen Grenzwerte für solche Felder vorliegen. Die meßtechnischen Voraussetzungen sind noch etwas unbefriedigend, da die kommerziellen Meßgeräte nicht jede Meßanforderung abdecken.

Weitere, etwas unkompliziertere Messungen, wurden im Zusammenhang der Beurteilung von Arbeitsplatzbeleuchtung und der Einhaltung von Lärmgrenzwerten durchgeführt.

4.4.3 Wartung und Reparatur

J. Burkhardt, H. Michel, W. Richter

Zur Instandhaltung der von der Abteilung betreuten kontinuierlich messenden Raumluft- und Fortluftüberwachungsanlagen waren 590 Reparatursätze erforderlich. Für die Fortluftüberwachungsanlagen kamen softwareprogrammierte Steuerungen als Grenzwertgeber zum Einsatz, deren Programmierung und Inbetriebnahme zusätzlich zu den Routinearbeiten erfolgte. Des öfteren waren Reparaturen an Ortsdosisleistungsmeßstellen notwendig.

Die Beratung bei der Lösung von Meßproblemen und bei der Beschaffung von neuen Geräten und Anlagen, die Mitarbeit bei Abnahmeprüfungen durch Aufsichtsbehörden, und nicht zuletzt der Versand von Geräten und die Beschaffung von Ersatzteilen erforderten einen erwähnenswerten Arbeitsaufwand.

4.4.4 Routinekalibrierung

M. Hauser, P. Bohn

Die routinemäßige Kalibrierung von Dosimetern und Dosisleistungsmeßgeräten dient der Gewährleistung der innerhalb der Strahlenschutzüberwachung erforderlichen Meßgenauigkeit der Geräteanzeige. Die für die Strahlenschutzmeßgeräte vorgeschriebene Meßgenauigkeit ergibt sich aus den Anforderungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt für die Zulassung zur Eichung und den Prüfregeln für Strahlenschutzdosimeter. Folgende Aufgaben stehen im Vordergrund:

- Kalibrierung von Dosisleistungsmeßgeräten, Dosimetern und Dosiswarngeräten,
- Bestrahlung von Dosimeterchargen zur Kalibrierung von Thermolumineszenz- und Photolumineszenz-Auswertegeräten.

Im Berichtsjahr wurden 17 Gamma-Dosisleistungsmeßgeräte und 15 Neutronendosisleistungsmeßgeräte kalibriert. Hinzu kam noch die Bestrahlung von 19 Neutronendosimetern. An der Hochdosis-Bestrahlungsanlage fanden 40 Bestrahlungen, zum Teil als Auftragsarbeiten für Fremdfirmen, statt. Im Bestrahlungsbunker wurden 440 Bestrahlungen, hauptsächlich für die amtliche Meßstelle für Festkörperdosimeter, durchgeführt. Alle Cs-137-Bestrahlungseinrichtungen wurden regelmäßig mit einem Sekundärstandard überprüft.

Zur Eichfristverlängerung erfolgte bei 265 Strahlenschutzmeßgeräten rechtzeitig die Überprüfung mit einer zugelassenen stationären Kontrolleinrichtung. Bei weiteren 45 Strahlenschutzmeßgeräten wurde mit der stationären Kontrolleinrichtung eine Meßprüfung durchgeführt, bevor sie der Eichbehörde überstellt wurden.

276 Bestrahlungen mit der Röntgenanlage dienten zur Bestimmung der Energieabhängigkeit von Dosimetern. Bei 14 Kontaminationsmonitoren, die von Kernkraftwerken eingesandt wurden, erfolgte eine Funktionskontrolle. Wenn notwendig und möglich, wurden defekte Geräte repariert und kalibriert.

4.4.5 Amtliche Eichabfertigungsstelle

M. Hauser, P. Bohn

Aufgrund 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 hierfür die vorhandenen technischen Einrichtungen zur Verfügung gestellt. Bei der amtlichen Eichabfertigungsstelle werden Beamte der Aufsichtsbehörde hoheitlich tätig. Der Beitrag der Hauptabteilung Sicherheit besteht in der Bereitstellung der Bestrahlungseinrichtungen und in der Unterstützung bei der Durchführung der Eichungen mit insgesamt 4 873 Eichpunkten im Jahr 1996.

4.5 Betriebsergebnisse aus dem Betrieb der Freimeßanlage

A. Reichert, M. Hellmann

Zur Durchführung von Freigabemessungen an radioaktiven Reststoffen (d. h. Entlassung aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes) wird durch die Abteilung Strahlenschutz in der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe eine Freimeßanlage betrieben. Die Freimeßanlage arbeitet dabei nach dem Prinzip der Gesamt-Gamma-Messung, entsprechend den Vorgaben aus DIN 25457, Teil 1, Kap. 4.4.

Die gemessenen Reststoffe gelten dann als "frei" bzw. können dann der uneingeschränkten Wiederverwertung zugeführt werden, wenn die folgenden Grenzwerte unterschritten sind:

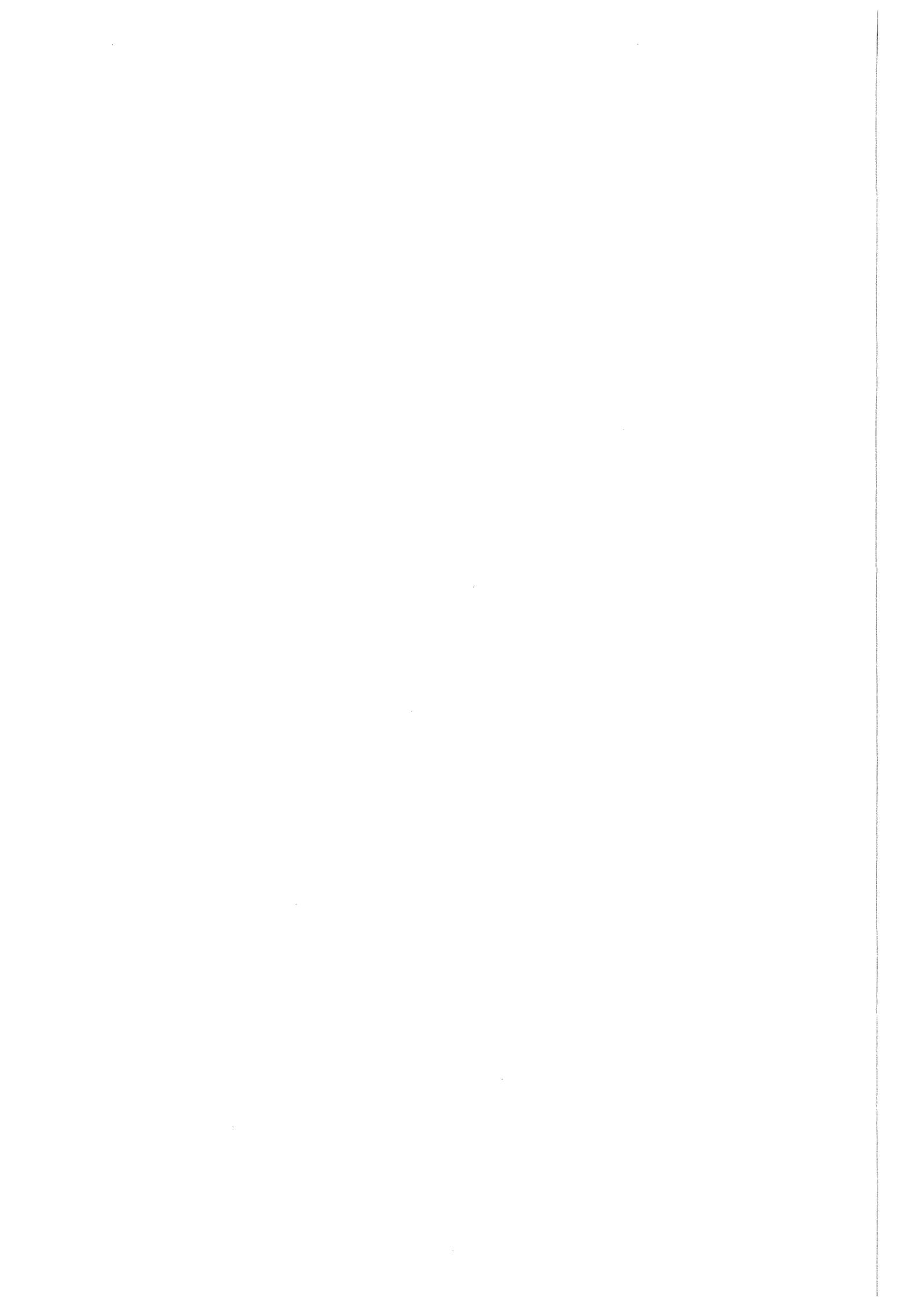
- Durch repräsentative Aktivitätsmessungen muß sichergestellt sein, daß die spezifische Aktivität das $5 \cdot 10^{-5}$ fache der Freigrenze nach Anlage IV Tabelle IV 1 Spalte 4 StrISchV je Gramm unter Beachtung der Summenformel (Freigabewert) nicht überschreitet und zwar
 - bei ausgebauten oder abgebauten Anlagenteilen und anderen festen Reststoffen gemittelt über die Masse der Einzelkomponenten, aber maximal über eine Masse von 10 kg bzw.
 - bei Flüssigkeiten und anderen homogenen Medien gemittelt über eine Masse von 1 kg.
- Durch repräsentative Kontaminationsmessungen muß bei festen Materialien sichergestellt sein, daß bei festen Reststoffen die an der Oberfläche haftende Aktivität gemittelt über 100 cm^2 an keiner Stelle folgende Werte überschreitet:
 - bei Alphastrahlern, für die eine Freigrenze von $5 \cdot 10^3 \text{ Bq}$ festgelegt ist: $0,05 \text{ Bq/cm}^2$,
 - bei sonstigen Radionukliden: $0,5 \text{ Bq/cm}^2$,
 - bei Betastrahlern und Elektroneneinfangstrahlern, für die eine Freigrenze von $5 \cdot 10^6 \text{ Bq}$ festgelegt ist, sowie für C-14, P-33, S-35, Ca-45, Fe-55, Ni-63, V-48, Mn-54 Co-58, Zn-65, Cr-51 und Pm-147: 5 Bq/cm^2 .
- Die Dosisleistung darf an der Oberfläche der Reststoffe $0,5 \text{ µSv/h}$ nicht überschreiten.

Die Freimeßanlage bietet sich zur Durchführung von Freigabemessungen an, wenn es sich innerhalb einer Reststoffcharge überwiegend um größere Mengen gleichartigen Materials, insbesondere mit gleicher Herkunft handelt und aufgrund des mittels Voruntersuchungen abgeschätzten Aktivitätsinventars die Reststoffe für eine Freigabe in Frage kommen. Die Betriebsergebnisse sind in der Tabelle 4/12 angegeben, aufgeschlüsselt in Materialart, Abgeber, Personenstunden, Anlagenstunden sowie dem Durchsatz mit dem Ergebnis "frei" bzw. "nicht frei".

Die Aufteilung in Personenstunden und Anlagenstunden ist deshalb erforderlich, weil nicht alle angelieferten Reststoffe "meßgerecht" verpackt sind und daher vor der Messung umgepackt werden müssen, die Anlagenstunden berücksichtigen die reine Betriebszeit der Freimeßanlage.

Materialart	Abgeber	Personen-Std.	Anlagen-Std.	"frei" in kg	"nicht frei" in kg
Metall	FR2	19	31	19 697	
	HDB-G		3	1 658	
	HDB-L		4	1 765	
	HDB-V	1	3	1 611	
	HDR	56	89	66 753	
	HVT/HZ		3	1 497	
	KNK		10	3 236	
	KKP		8	5 184	
	MZFR	18	23	17 217	
	THTR		2	194	
	Summe:	94	176	118 812	0
Bauschutt	HDR	570	325	285 165	37 737
Kabel	HDR	12	19	2 955	
	ITC/CPV	12	4	4 890	
	MZFR	3	2	2 009	
	FR-2	30	22	26 026	
	HVT/HZ		1	344	
	Summe:	55	47	36 224	0
sonstige	HDR	4	8	4 709	
	ABB		9	1 440	
	MZFR	4	4	214	
	Summe:	9	21	6 363	0
Gesamtsumme:		744	569	446 564	37 737

Tab. 4/12: Betriebsergebnis der Freimeßanlage im Berichtsjahr 1996



5 Umweltschutz

M. Winter

Die Aufgaben der Abteilung "Umweltschutz" (HS-US) umfassen vor allem die Überwachung der Emissionen 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 durch die Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Grenzwerte und darüber hinausgehender Auflagen der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde. Ausführliche Berichte über die Ergebnisse der Abluft-, Abwasser- und Umgebungsüberwachung werden dem Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg vierteljährlich übersandt.

Die von den Emittenten des Forschungszentrums geplanten Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre werden von HS-US koordiniert. Dies geschieht durch die Erstellung eines Abluftplanes, in dem die von den verschiedenen Emittenten entsprechend ihrer Zweckbestimmung und ihren Forschungsaufgaben beantragten Planungswerte berücksichtigt werden. Zur Kontrolle der Einhaltung der Bestimmungen des Abluftplanes und zur Bilanzierung der abgeleiteten Radioaktivität werden alle im Bereich des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH anfallenden Proben bei HS-US gemessen. Struktur, Umfang und Ergebnisse der routinemäßigen Abluftüberwachung sowie die Ergebnisse der Dosisberechnungen für die Umgebung auf der Grundlage der bilanzierten Ableitungen werden in Kap. 5.1 dieses Berichts dargestellt.

Die Überwachung des Radioaktivitätsgehaltes aller im Forschungszentrum anfallenden Abwässer erfolgt zentral durch HS-US. Die Aktivitätskonzentrationen der aus den einzelnen Abwassersammelstationen gezogenen Abwasserproben werden bei HS-US gemessen. Durch Vergleich der Meßergebnisse mit genehmigten Werten wird in jedem Einzelfall über das Erfordernis einer Dekontamination der Abwässer entschieden. Die Bilanzierung der mit dem Abwasser insgesamt in den Vorfluter abgeleiteten Radioaktivität erfolgt anhand der Meßergebnisse für mengenproportionale Mischproben aus den Endbecken der Kläranlage. Über die Ergebnisse der routinemäßigen Abwasserüberwachung und der Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung wird in Kap. 5.2 berichtet.

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, Fisch, Sediment, Oberflächenwasser, Grund- und Trinkwasser. Eine zusammenfassende Darstellung des Programms und der Ergebnisse der Umgebungsüberwachung wird in Kap. 5.3 gegeben. Der Umfang der zur Erfüllung der Aufgaben der Abteilung erforderlichen radiochemischen Arbeiten wird in Kap. 5.4 dargestellt.

Seit 1995 wird von HS-US in Kooperation mit der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe ein Freimeßlabor betrieben. Beim Rückbau und beim Abriß kerntechnischer Anlagen fallen große Mengen radioaktiver Reststoffe an. Solche Reststoffe dürfen nur dann uneingeschränkt verwertet oder wie gewöhnlicher Abfall beseitigt werden, wenn behördlich vorgegebene Richtwerte unterschritten sind. Im Freimeßlabor werden alle für den Freigabevorgang erforderlichen nuklidspezifischen Analysen durchgeführt (s. Kap. 5.5).

Für das Projekt Kernfusion werden Untersuchungen zur Aufnahme von Tritium in ernährungsrelevante Pflanzen durchgeführt. Um die Ingestionsdosis nach einer Freisetzung von Tritium in die Atmosphäre abschätzen zu können, wurde ein Modell für die Berechnung des Einbaus von Tritium in Weizenpflanzen entwickelt. Das Modell wurde anhand der Ergebnisse von Expositionsexperimenten im Freiland in den Jahren 1995 und 1996 getestet. Daraus resultierten Verbesserungen in der Vorhersage der Aufnahme von HTO in das Gewebewasser und des Tritiumeinbaus in die organische Substanz. Über die Untersuchungsergebnisse wird in Kap. 5.6 berichtet.

5.1 Fortluftüberwachung

A. Wicke

Im Rahmen der Überwachungsaufgaben der Abteilung Umweltschutz sind entsprechend den "Grundsätzen für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Forschungszentrum Karlsruhe (Stand: November 1990)" die Aktivitätsabgaben der einzelnen Emittenten zu kontrollieren und zu bilanzieren. Dies geschieht auf der Grundlage eines von HS-US erstellten und vom Ministerium für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg genehmigten "Abluftplans". Dieser Abluftplan enthält für die einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe die höchstzulässigen Jahres-, Wochen- bzw. Tagesabgaben, aufgeschlüsselt nach Radionukliden und Radionuklidgruppen. Die jeweiligen Werte sind so festgelegt, daß auch bei ihrer Ausschöpfung die errechnete Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung des Forschungszentrums die in § 45 der Strahlenschutzverordnung vorgeschriebenen Dosisgrenzwerte noch deutlich unterschreitet.

Im Abluftplan und bei der Bilanzierung der radioaktiven Ableitungen werden die folgenden Nuklidgruppen und Einzelnuklide unterschieden:

AAK	Aerosole mit kurzlebiger α -Aktivität (Halbwertszeit <8 Tage)
AAL	Aerosole mit langlebiger α -Aktivität (Halbwertszeit ≥ 8 Tage)
ABK	Aerosole mit kurzlebiger β -Aktivität (Halbwertszeit <8 Tage)
ABL	Aerosole mit langlebiger β -Aktivität (Halbwertszeit ≥ 8 Tage)
E	radioaktive Edelgase
GK	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 die Nuklidzusammensetzungen in den Ableitungen nicht vorhergesagt werden können, andererseits aber höchstzulässige Ableitungen vorgegeben werden müssen. Die für die Messung, die Bilanzierung und die Dosisberechnung erforderlichen Definitionen der Nuklidgruppen werden in Kap. 5.1.3.5 näher erläutert.

Der Abluftplan 1996 weist Genehmigungswerte für 30 Emittenten aus (s. Abb. 5/1). Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Ableitungen über insgesamt 38 Emissionsstellen erfolgen. Die Zahl 30 ergibt sich dadurch, daß im Fall sehr nahe beieinanderliegender Kamine zur Vereinfachung der Ausbreitungsrechnungen mehrere zu einem Emittenten zusammengefaßt wurden:

HZY:	Kamine KAZ und Boxenabluft
HDB:	Kamine Bau 545 und 555
HDB:	Kamine Bau 548 Ost und West
HVT-HZ:	Kamine Bau 702 und 709
ITU:	Kamine Bau 802, 806 und 807
WAK:	Kamine Bau 1503, 1532 und 1533

Die Ableitungen der zum Forschungszentrum Karlsruhe GmbH gehörenden Emittenten werden in Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern der HS-Abteilung "Strahlenschutzüberwachung" (HS-St) ermittelt. Dabei werden die zur Bilanzierung benutzten Filter, Iodkohlepatronen, C-14- und Tritiumsammler durch HS-St-Personal gewechselt und HS-US zur Auswertung zugeleitet (s. Abb. 5/2). Die Ergebnisse der Edelgasmeßstellen werden vor Ort registriert und HS-US übermittelt. Wartung, Reparatur und Kalibrierung der für die Fortluftüberwachung eingesetzten Geräte werden von HS-St durchgeführt.

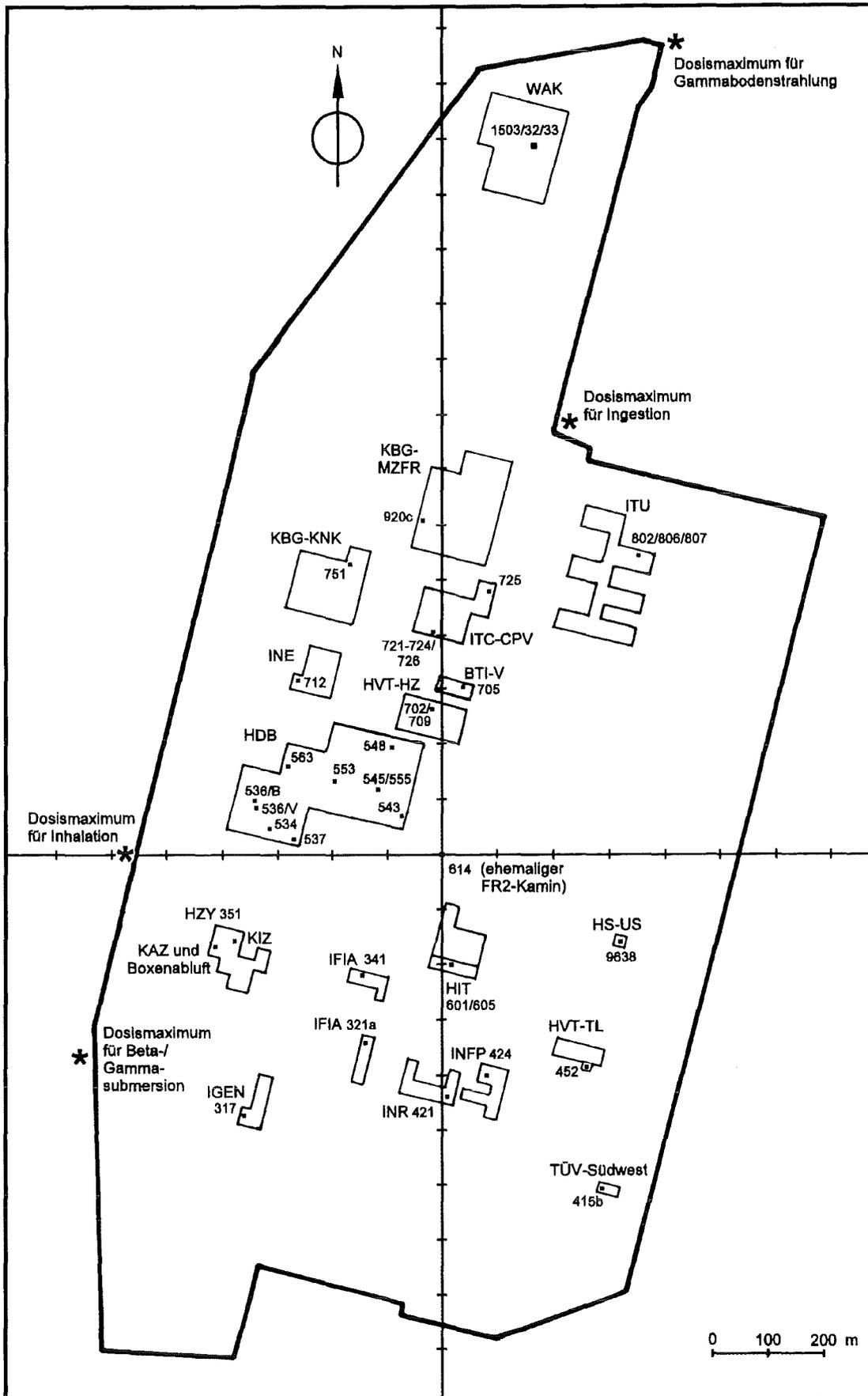
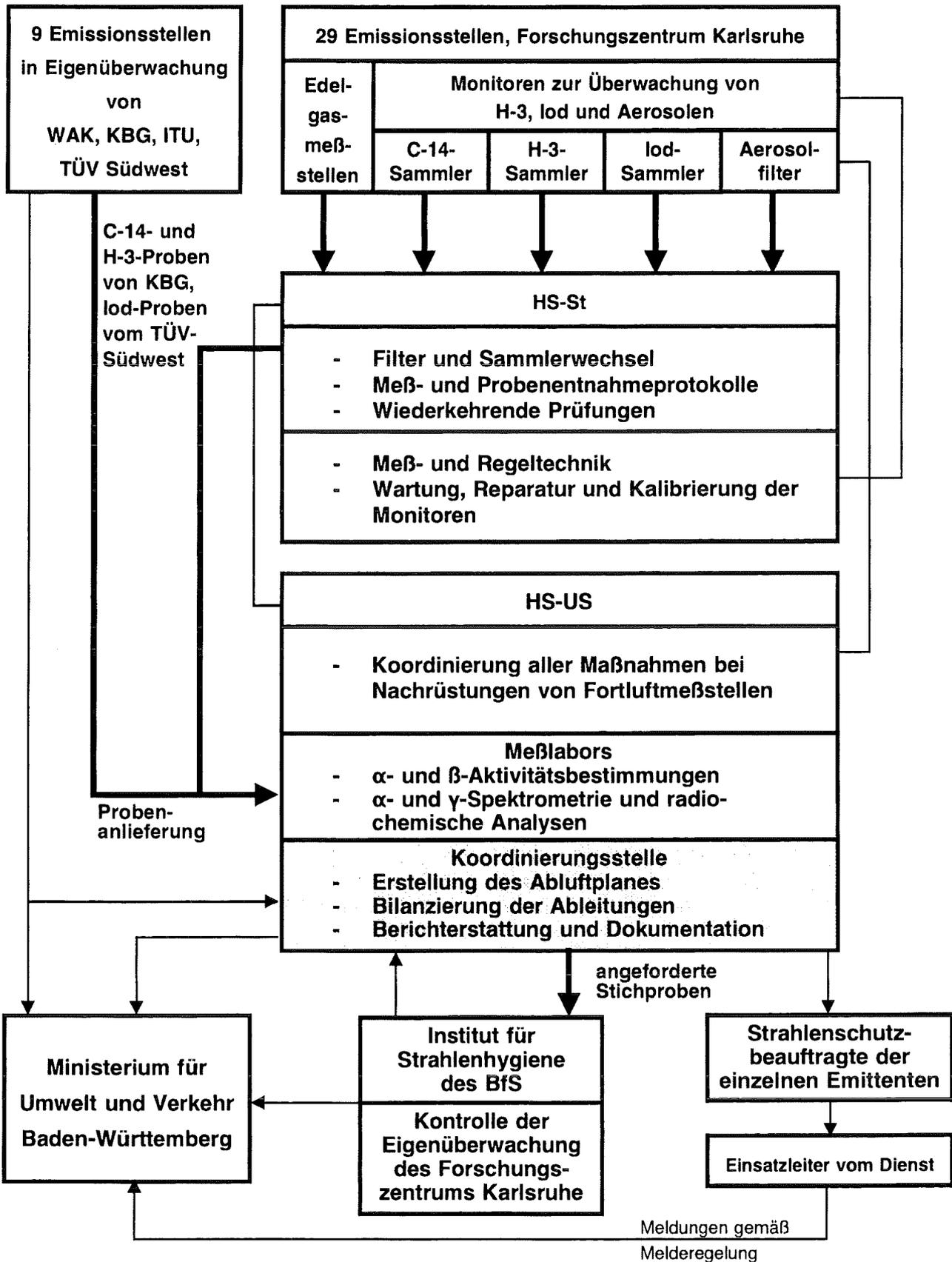


Abb. 5/1: Lageplan der Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe mit Angabe der Gebäudenummern. Mit "*" sind die ungünstigsten Einwirkungsstellen gekennzeichnet, die sich aufgrund der Dosisberechnung ergeben (s. Kap. 5.1.3)



— Proben und Meßprotokolle — Kommunikationswege und Berichterstattung

Abb. 5/2: Schematische Darstellung der Fortluftüberwachung im Forschungszentrum

Die Fortluftmeßstelle von Bau 614 wurde am 10. Juni 1996, die von Bau 601/605 am Jahresende 1996 außer Betrieb genommen. Die Fortluftüberwachung der Emittenten am Standort, die nicht vom Forschungszentrum Karlsruhe GmbH betrieben werden, erfolgt durch die zuständigen Betreiber. Die Meßergebnisse werden der bilanzierenden Stelle bei HS-US mitgeteilt.

Einzelheiten zur Messung und Bilanzierung von radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft sind aus Kap. 5.1.1 ersichtlich. Über die aufgrund dieser Ableitungen in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe rechnerisch ermittelte Strahlenexposition wird in Kap. 5.1.3 berichtet. Bei der Dosisberechnung wurde die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung angewandt.

Darüber hinaus erfolgt in Kap. 5.1.2 eine Berichterstattung über die Ableitungen nicht-radioaktiver Stoffe mit der Fortluft für die Anlagen, deren Betrieb nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz zu genehmigen war.

5.1.1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft 1996

B. Messerschmidt, A. Wicke

Die Bilanzierung der radioaktiven Ableitungen erfolgt durch Auswertung der in den Fortluftmeßstellen eingesetzten Sammler. Für die Überwachung der Aerosole werden Glasfaserfilter, für Iod Aktivkohle und für Tritium bzw. C-14 Molekularsiebe eingesetzt. Eine Ausnahme bilden die radioaktiven Edelgase, deren Bilanzierung durch Direktmessung erfolgt. 1996 waren insgesamt rund 3 200 Proben zu analysieren. Alle Meßergebnisse wurden auf der Grundlage einer wöchentlichen Bilanzierung dokumentiert und der Behörde in Form von Tages-, Wochen-, Quartals- und Jahresberichten mitgeteilt. Zur Bilanzierung werden gemäß KTA-Regel 1503.1 nur Meßwerte herangezogen, die oberhalb der erreichten Erkennungsgrenze lagen. Die Bilanzierungswerte für radioaktive Aerosole werden durch Messung der Gesamt- α - bzw. Gesamt- β -Aktivität ermittelt. In den Fällen, bei denen sich Hinweise darauf ergeben, daß bei erhöhten Kurzzeitabgaben die zulässigen Wochen- bzw. Tageswerte erreicht worden sein könnten, werden nuklidspezifische Messungen vorgenommen.

Die Radioiodableitungen werden durch gammaspektrometrische Analyse der Aktivkohlefilter ermittelt. Um die potentielle Schilddrüsendosis 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

In Tab. 5/1 werden für die einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe, geordnet nach aufsteigenden Gebäudenummern und den jeweils zu berücksichtigenden Nukliden und Nuklidgruppen, die 1996 gemäß Abluftplan maximal zulässigen Ableitungen (Wochen- und Jahreswerte) mit den im Berichtsjahr und im Vorjahr bilanzierten Ableitungen verglichen. Die zulässigen Jahresableitungen wurden in keinem Fall überschritten.

Emittent Bau-Nr. Emissions- höhe	Nuklid/ Nuklid- gruppe	zulässige Ableitungen gemäß Abluftplan 1996		bilanzierte Ableitungen		Effektivdosis 1996 am Immissions- maximum des Emittenten µSv
		Bq/Woche	Bq/a	1996	1995	
				Bq	Bq	
IGEN Bau 317 14 m	ABL I-125		1,0 E06 7,0 E06	5,0 E04 0	2,7 E04 1,2 E04	< 0,001
IFIA Bau 321a 15 m	AAL ABL H-3	1,0 E04 1,0 E07 2,0 E12	2,0 E05 2,0 E08 4,0 E13	2,2 E03 3,6 E04 2,7 E09	2,9 E03 4,0 E04 1,5 E10	< 0,001
IFIA Bau 341 15 m	AAL ABL		1,0 E05 1,0 E07	4,8 E03 5,1 E04	5,8 E03 6,5 E04	< 0,001
HZY Bau 351 KIZ 36 m	ABK ABL E+GK I-123 I-126		5,0 E09 5,0 E07 1,0 E13 1,0 E10 5,0 E06	- 4,0 E04 1,0 E12 1,2 E08 0	- 3,0 E04 1,0 E12 1,5 E08 0	0,076
HZY Bau 351 KAZ 15 m und Boxenabluft 11m	ABK ABL E+GK I-123 I-125 I-126	5,0 E08 5,0 E06 1,0 E12 5,0 E08 5,0 E05 5,0 E05	1,0 E10 1,0 E08 2,0 E13 1,0 E10 1,0 E07 1,0 E07	1,1 E05 8,5 E04 2,1 E12 8,1 E08 1,1 E05 0	2,7 E05 6,8 E04 1,5 E12 7,4 E08 3,4 E05 0	0,22
TÜV Südwest Bau 415b 10 m	I-131	5,0 E05	5,0 E06	2,5 E03	3,3 E05	< 0,001
INR Bau 421/423 5 m	E+GK H-3		2,0 E10 2,0 E12	- 6,7 E09	1,0 E08 4,0 E10	< 0,001
INFP und IK III Bau 424-426 und 434 10 m	E H-3		3,0 E11 2,0 E11	- -	- -	-
HVT-TL Bau 452 50 m	H-3	2,0 E12	4,0 E13	2,7 E11	1,2 E11	0,007
HDB Bau 533/534 8 m	AAL ABL H-3 I-125 I-129 I-131		4,0 E04 4,0 E07 8,0 E10 2,0 E05 2,0 E05 2,0 E05	2,1 E02 2,3 E05 1,4 E10 2,6 E03 9,6 E03 0	0 7,5 E04 2,8 E09 0 1,4 E04 0	0,006

" 0 " = alle gemessenen Werte lagen unterhalb der Erkennungsgrenze

" - " = keine Ableitungen

Tab. 5/1: Ableitungen radioaktiver Stoffe der einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe in die Atmosphäre in den Jahren 1996 und 1995

Emittent Bau-Nr. Emissions- höhe	Nuklid/ Nuklid- gruppe	zulässige Ableitungen gemäß Abluftplan 1996		bilanzierte Ableitungen		Effektivdosis 1996 am Immissions- maximum des Emittenten µSv
		Bq/Woche	Bq/a	1996	1995	
				Bq	Bq	
HDB Bau 536/V (Ver- brennungs- anlagen) 70 m	AAL	2,0 E06	4,0 E07	3,7 E04	2,7 E05	0,30
	ABL	1,0 E09	2,0 E10	1,3 E06	1,2 E06	
	H-3	2,0 E12	4,0 E13	9,3 E12	2,9 E12	
	C-14	7,5 E10	1,5 E12	1,8 E11	4,4 E10	
	I-125	1,5 E07	3,0 E08	1,1 E06	3,1 E05	
	I-129	1,0 E07	2,0 E08	2,2 E06	3,3 E06	
	I-131	2,0 E07	4,0 E08	0	0	
HDB Bau 536/B (Betriebs- räume) 16,5 m	AAL		1,0 E05	0	3,0 E03	0,003
	ABL		2,0 E07	0	1,7 E04	
	H-3		5,0 E10	8,6 E09	2,6 E09	
	I-125		8,0 E05	0	0	
	I-129		5,0 E05	0	0	
HDB LfU-Lager Bau 537 16,5 m			1,0 E11	2,6 E08	4,1 E08	< 0,001
	H-3					
HDB Bau 543 8 m	AAL		4,0 E05	1,4 E03	1,4 E03	< 0,001
	ABL		4,0 E07	1,7 E04	1,7 E04	
	H-3		1,0 E10	1,4 E06	2,0 E06	
	I-129		1,0 E04	2,1 E02	4,2 E02	
HDB Bau 545 20 m und HDB Bau 555 19 m	AAL	1,0 E05	2,0 E06	7,1 E02	9,4 E02	0,012
	ABL	5,0 E07	1,0 E09	1,7 E05	4,0 E05	
	H-3	2,0 E11	4,0 E12	8,2 E09	1,2 E11	
	C-14	5,0 E09	1,0 E11	1,6 E07	3,0 E08	
	I-125	2,5 E06	5,0 E07	3,1 E04	5,1 E05	
	I-129	3,0 E05	6,0 E06	3,9 E05	8,4 E05	
	I-131	5,0 E06	1,0 E08	0	0	
HDB Bau 548 Ost und INE, Bau 547 15 m und HDB Bau 548 West 15 m	AAL	1,5 E05	3,0 E06	0	2,4 E03	0,089
	ABL	2,0 E07	4,0 E08	3,6 E05	1,3 E06	
	H-3	2,0 E12	4,0 E13	1,7 E12	1,0 E12	
	C-14	5,0 E08	1,0 E10	2,9 E08	1,4 E08	
	I-125	4,0 E06	8,0 E07	0	0	
	I-129	1,0 E06	2,0 E07	1,1 E04	8,8 E04	
	I-131	4,0 E06	8,0 E07	0	0	
	E	5,0 E10	1,0 E12	-	-	
HDB LAW-Lager Bau 553 8,5 m	AAL		1,0 E05	8,9 E02	2,0 E02	< 0,001
	ABL		1,0 E07	0	0	
	H-3		1,0 E11	8,4 E07	4,6 E07	
	I-129		5,0 E05	0	0	

" 0 " = alle gemessenen Werte lagen unterhalb der Erkennungsgrenze

" - " = keine Ableitungen

Tab. 5/1: Ableitungen radioaktiver Stoffe der einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe in die Atmosphäre in den Jahren 1996 und 1995
(Fortsetzung)

Emittent Bau-Nr. Emissions- höhe	Nuklid/ Nuklid- gruppe	zulässige Ableitungen gemäß Abluftplan 1996		bilanzierte Ableitungen		Effektivdosis 1996 am Immissions- maximum des Emittenten µSv
		Bq/Woche	Bq/a	1996	1995	
				Bq	Bq	
HDB Bau 563 14 m	AAL ABL H-3		1,0 E06 1,0 E07 8,0 E11	0 5,9 E03 1,8 E08	9,0 E02 1,3 E04 2,5 E08	< 0,001
HIT Bau 601/605 22 m	AAK AAL ABL H-3		6,0 E08 8,0 E05 3,0 E06 1,0 E08	- 1,3 E00 2,1 E04 -	4,0 E08 3,5 E02 1,2 E04 1,0 E08	< 0,001
PBS-FR2 Bau 614 99 m	AAL ABL H-3 I-129		1,0 E06 1,0 E08 1,0 E11 1,0 E06	3,2 E03 1,1 E05 2,1 E09 0	5,1 E02 9,8 E04 3,6 E09 0	< 0,001
HVT-HZ Bau 702 60 m und Bau 709 60 m	AAL ABL H-3	2,0 E06 5,0 E08 1,0 E13	4,0 E07 1,0 E10 2,0 E14	8,8 E02 5,3 E04 6,5 E11	1,1 E03 4,9 E04 4,6 E11	0,007
BTI-V Wäscherei Bau 705 5,5 m	AAL ABL		1,0 E06 1,0 E08	1,5 E03 2,8 E04	1,7 E03 3,1 E04	< 0,001
INE Bau 712 60 m	AAL ABL H-3 E I-125 I-126 I-129 I-131	5,0 E04 5,0 E06 5,0 E08 1,0 E10 1,0 E06 1,0 E06 5,0 E04 1,5 E06	1,0 E06 1,0 E08 1,0 E10 2,0 E11 2,0 E07 2,0 E07 1,0 E06 3,0 E07	0 0 4,9 E09 1,8 E08 - - - -	1,0 E02 1,7 E04 2,0 E08 1,0 E08 - - - -	< 0,001
ITC-CPV Bau 721- 724/726 60 m	AAL ABL H-3 C-14 I-129 I-131		3,0 E06 3,0 E08 2,0 E11 4,0 E09 3,0 E06 5,0 E07	9,2 E02 2,1 E03 4,4 E08 - 6,9 E03 0	3,3 E03 2,4 E04 2,3 E08 - 6,6 E04 0	< 0,001
ITC-CPV Bau 725 10 m	AAL ABL H-3 C-14 I-129 I-131		1,0 E05 1,0 E07 4,0 E09 4,0 E08 3,0 E06 1,0 E06	2,8 E02 0 1,8 E08 - 0 0	1,4 E04 1,3 E03 1,5 E08 - 0 0	< 0,001

" 0 " = alle gemessenen Werte lagen unterhalb der Erkennungsgrenze

" - " = keine Ableitungen

Tab. 5/1: Ableitungen radioaktiver Stoffe der einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe in die Atmosphäre in den Jahren 1996 und 1995 (Fortsetzung)

Emittent Bau-Nr. Emissions- höhe	Nuklid/ Nuklid- gruppe	zulässige Ableitungen gemäß Abluftplan 1996		bilanzierte Ableitungen		Effektivdosis 1996 am Immissions- maximum des Emittenten µSv
		Bq/Woche	Bq/a	1996	1995	
				Bq	Bq	
KBG-KNK Bau 751 99 m	A _{BL} H-3	- -	5,0 E07 5,0 E11	0 1,7 E10	4,7 E10 2,9 E10	< 0,001
ITU Bau 802, 806, 807 50 m	A _{AK} A _{AL} A _{BL} E C-14 I-129 I-131	1,6 E10 5,0 E04 2,0 E07 2,0 E12 1,0 E09 5,0 E04 1,0 E06	3,2 E11 1,0 E06 4,0 E08 4,0 E13 2,0 E10 1,0 E06 2,0 E07	- 9,7 E02 6,7 E04 7,6 E11 - - 1,5 E06	- 3,6 E03 5,7 E04 1,2 E12 - - -	< 0,001
KBG-MZFR Bau 920c 99,5 m	A _{AL} A _{BL} Sr-90 H-3 C-14	5,0 E04 5,0 E07 4,0 E12	1,0 E06 1,0 E09 1,0 E08 8,0 E13 1,0 E10	0 0 - 2,0 E12 2,2 E09	- 3,1 E04 - 4,3 E12 2,4 E09	0,005
WAK Bau 1503/ 1532/1533 60 m	A _{AL} A _{BL} Pu-241* Sr-90* E H-3 I-129 I-131	Bq/Tag 1,85 E06 1,85 E08 1,0 E10 1,85 E11 2,4 E06 1,48 E07	1,85 E08 1,85 E10 3,7 E09 1,85 E09 1,0 E12 1,85 E13 2,4 E08 1,48 E09	1,5 E05 6,5 E06 3,0 E06 7,9 E05 1,0 E11 4,3 E10 3,1 E06 3,0 E06	3,0 E05 9,8 E06 5,9 E06 1,2 E06 1,0 E11 6,4 E10 2,9 E06 2,5 E06	0,08
HS-US Bau 9638 10 m	H-3		4,0 E11	-	3,3 E07	-

" 0 " = alle gemessenen Werte lagen unterhalb der Erkennungsgrenze

" - " = keine Ableitungen

* Ableitungswerte sind in A_{BL} enthalten, wobei die bilanzierten Ableitungen für Pu-241 aus den Ableitungen von A_{AL} errechnet, die für Sr-90 durch radiochemische Analyse ermittelt wurden

Tab. 5/1: Ableitungen radioaktiver Stoffe der einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe in die Atmosphäre in den Jahren 1996 und 1995 (Fortsetzung)

Für die WAK wurden gemäß Auflage sowohl die zulässigen als auch die bilanzierten Pu-241- und Sr-90-Ableitungen explizit in Tab. 5/1 aufgenommen. Die Emissionswerte für Sr-90 und Pu-241 sind im Wert für die Nuklidgruppe A_{BL} bereits enthalten. Die Pu-241-Werte wurden auf der Grundlage der gemessenen Gesamt-α-Emissionen aus dem Pu-241-Anteil im jeweiligen Kernbrennstoff errechnet, die Werte von Sr-90 wurden durch radiochemische Analyse ermittelt.

In den Abbildungen 5/3a bis 5/3g wurden die monatlichen Radioaktivitätsableitungen mit der Fortluft im Jahr 1996 graphisch dargestellt. Es wurde - aufgeschlüsselt nach Nuklidgruppen - unterschieden zwischen den Genehmigungsinhabern ITU, WAK, KBG und Forschungszentrum Karlsruhe GmbH. KBG umfaßt die beiden Emittenten KNK und MZFR. Für die Einrichtungen des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH wurden die Ableitungen für den Emissionsschwerpunkt HDB (9 Emittenten) und die 17 übrigen Emittenten getrennt dargestellt. Die Ableitungen des TÜV Südwest, Bau 415b, wurden der Gruppe der "Übrigen" zugerechnet.

Graphisch dargestellt wurden die Ableitungen der radioaktiven Aerosole, und zwar getrennt nach Aerosolen mit Alpha- und mit Betaaktivität, der radioaktiven Edelgase und kurzlebigen Aktivierungsgase sowie der Einzelnuklide I-129, I-131, Tritium und C-14.

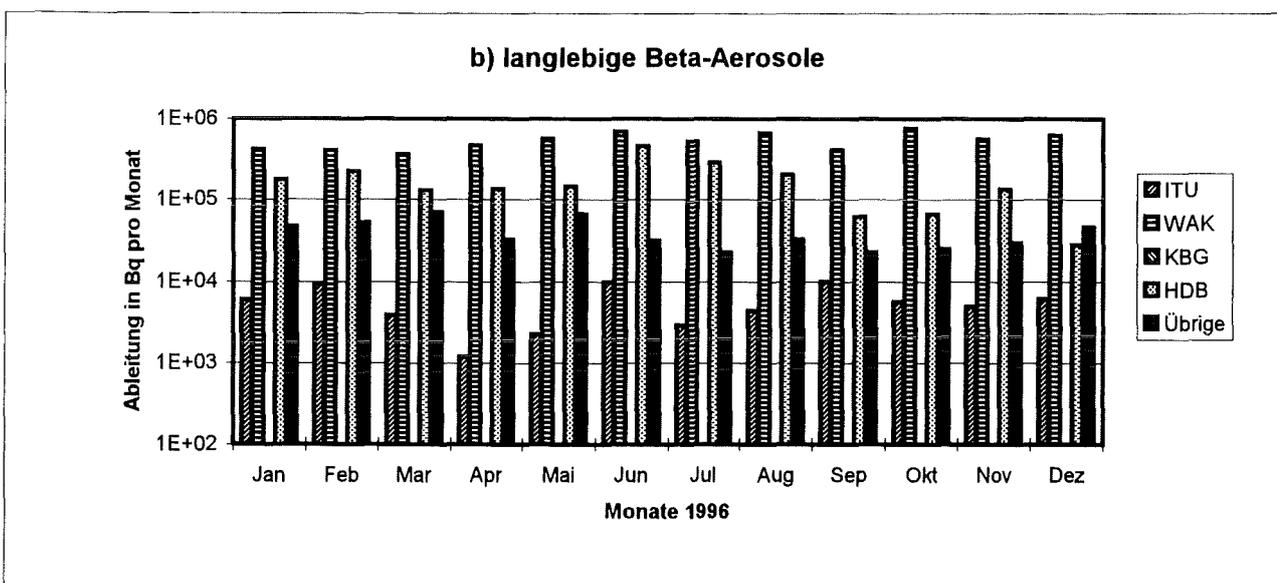
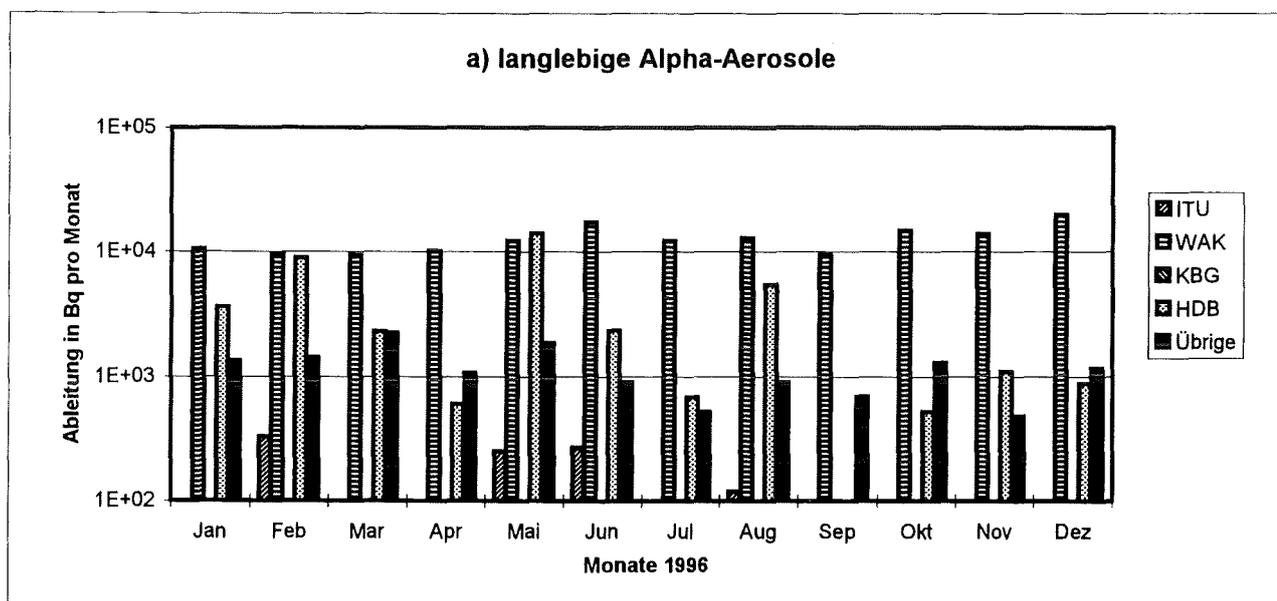


Abb. 5/3a-b: Monatliche Radioaktivitätsableitungen mit der Fortluft am Standort Forschungszentrum Karlsruhe im Jahr 1996

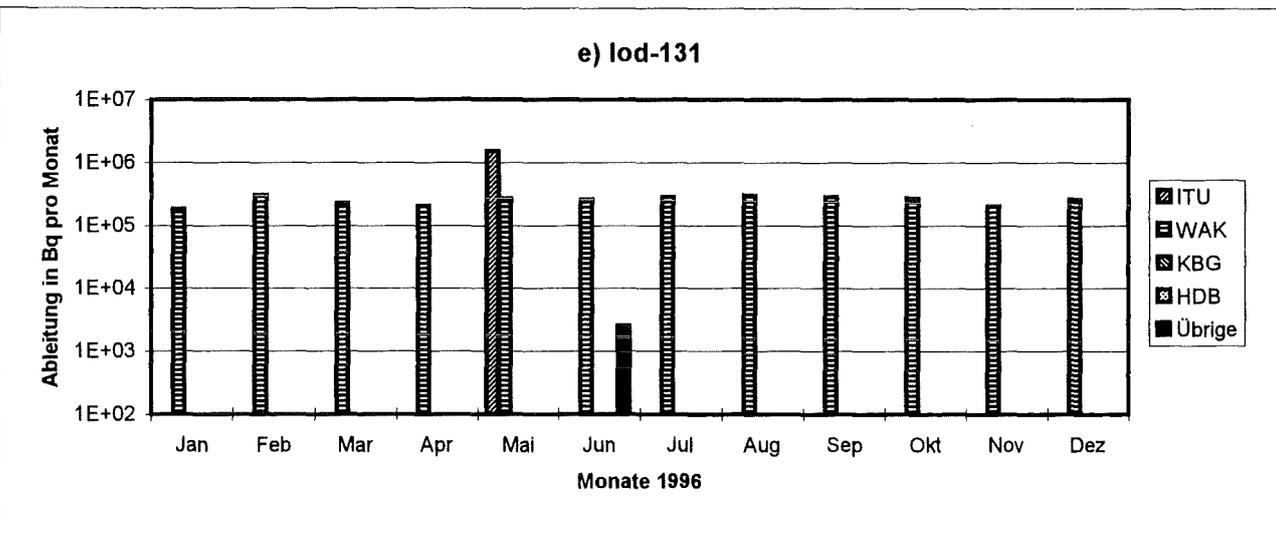
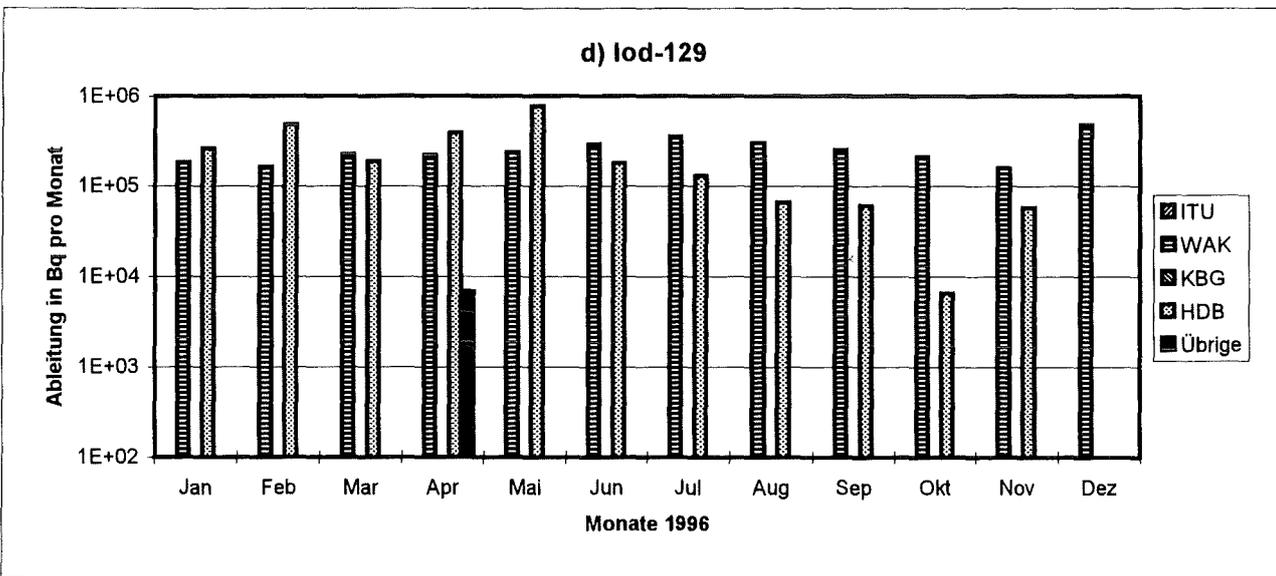
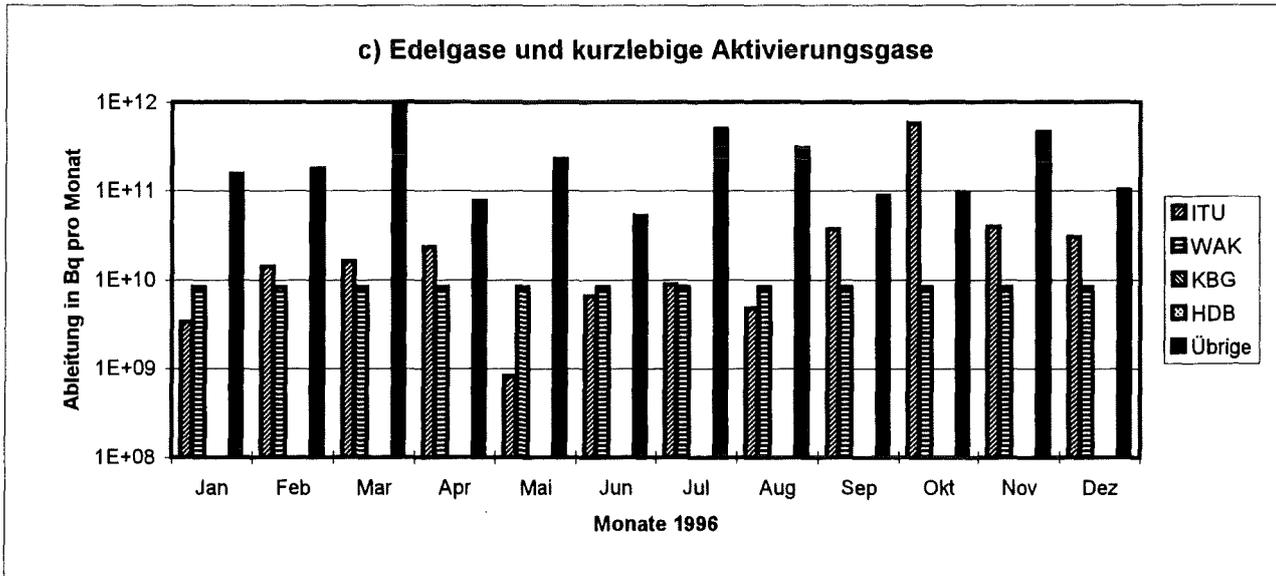


Abb. 5/3c-e: Monatliche radioaktive Ableitungen mit der Fortluft am Standort Forschungszentrum Karlsruhe im Jahr 1996

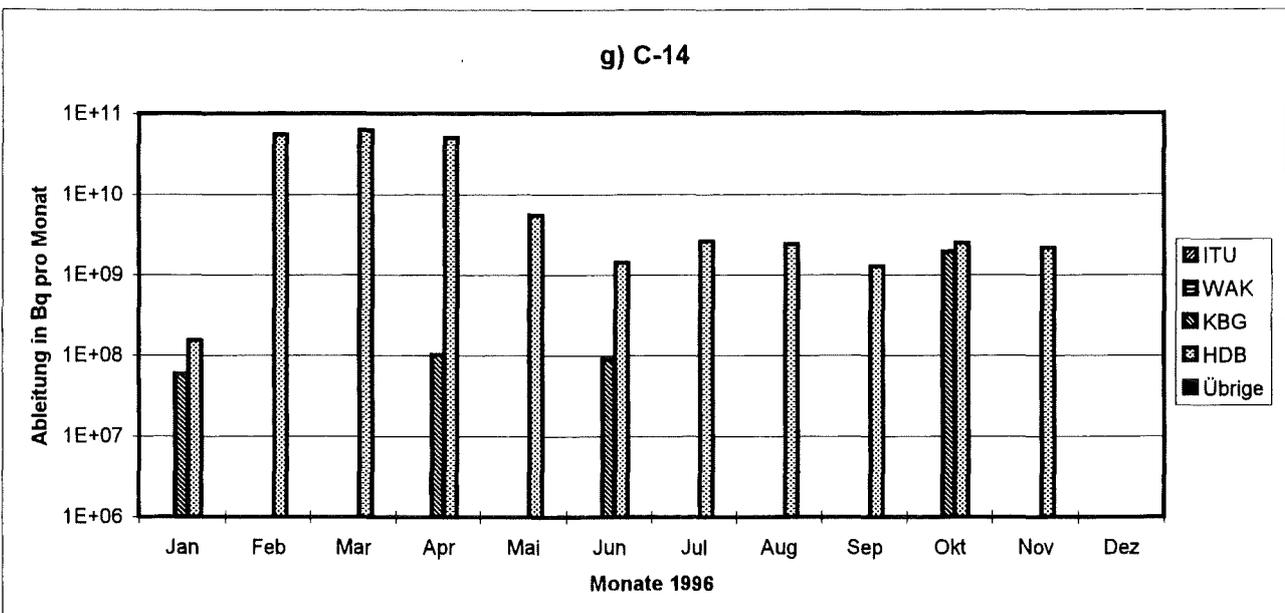
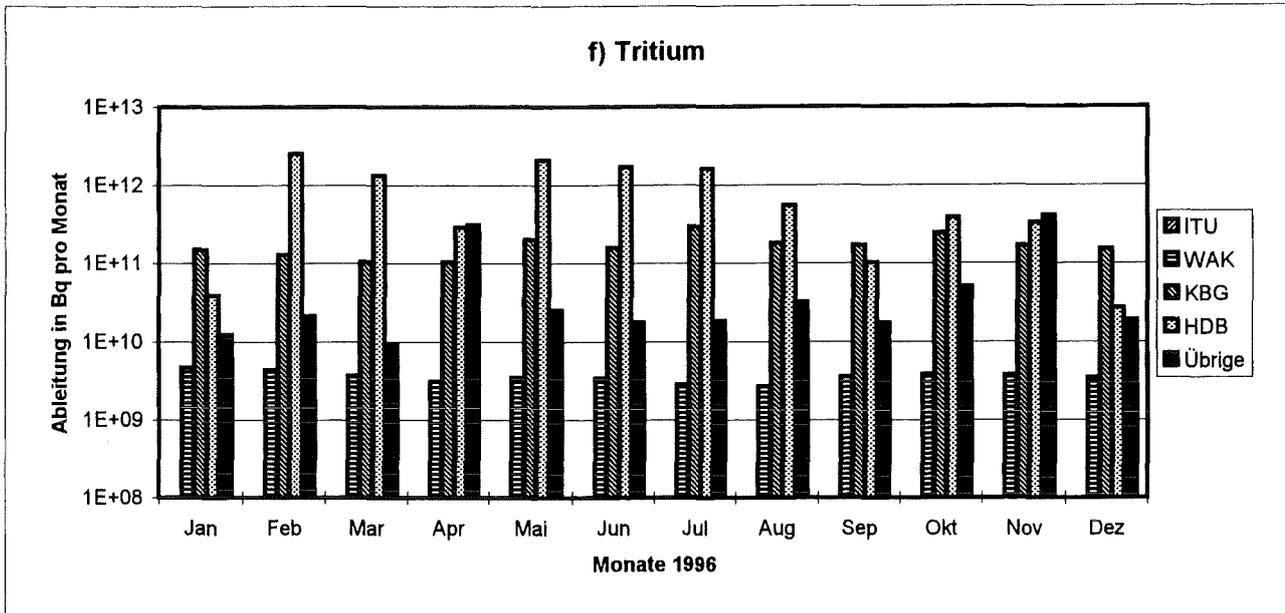


Abb. 5/3f-g: Monatliche radioaktive Ableitungen mit der Fortluft am Standort Forschungszentrum Karlsruhe im Jahr 1996

5.1.2 Ableitung nichtradioaktiver Stoffe mit der Fortluft 1996

B. Messerschmidt, A. Wicke

Das Forschungszentrum ist Genehmigungsinhaber für den Betrieb von mehreren Verbrennungsanlagen mit unterschiedlicher Aufgabenstellung:

- Die Verbrennungsanlagen für feste und flüssige radioaktive Abfälle. Die Anlagen werden von der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe betrieben.

- Die Testanlage zur Müllverbrennung, Abgasreinigung, Rückstandsverwertung und Abwasserbehandlung (TAMARA). Die Verbrennungsanlage hat eine maximale Leistung von 300 kg/h. TAMARA wird vom Institut für Technische Chemie, Bereich Thermische Abfallbehandlung (ITC-TAB), betrieben.
- Das Heizwerk des Forschungszentrums Karlsruhe, bestehend aus vier Einzelkesselanlagen (Fernheizwerk) und einem Blockheizkraftwerk (Gasturbinenanlage mit Abhitzekeessel). Die gesamte installierte Feuerungswärmeleistung beträgt etwa 100 MW. Das Heizwerk wird vom Bereich Technische Infrastruktur betrieben.

Für alle drei Anlagen wurden die nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz erforderlichen Genehmigungen erteilt. Die Genehmigungsbescheide enthalten Auflagen zur Überwachung der Emissionen. Die Informationen und die Emissionsdaten für die folgenden Tabellen wurden von den Betreibern zur Verfügung gestellt.

5.1.2.1 Verbrennungsanlagen der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe

S. Drobnik (HDB)

Für alle drei Verbrennungsanlagen der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe besteht die behördliche Auflage zur kontinuierlichen Messung folgender mit dem Abgas emittierter Schadstoffe: Staub, Gesamtkohlenstoff, HCl, SO₂ und CO. Das Regierungspräsidium Karlsruhe hat Mitte 1992 dem Antrag, die beiden Feststoffverbrennungsanlagen als Anlagen zur Verbrennung von hausmüllähnlichem Gewerbeabfall einzustufen, stattgegeben und damit für beide Anlagen einen Sauerstoffbezugswert von 17 Vol.-% festgelegt, bezogen auf trockenes Rauchgas.

Die einzelnen Meßgeräte sind als eignungsgeprüft nach den Richtlinien des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (GMBl. 1990, Nr. 12, S. 226) zugelassen. Für Meßgeräte und Meßanordnung wurde vom TÜV Südwest als amtlicher Meßstelle eine Funktionsprüfung und eine Kalibrierung durchgeführt. Für jeden Schadstoff wird täglich ein Protokoll erstellt, in dem die Häufigkeitsverteilung der Halbstunden- und Tagesmittelwerte für Konzentration und Massenstrom sowie Angaben über Betriebszeiten und Anlagenzustände enthalten sind.

Die Anlage zur Verbrennung fester α -kontaminierter Reststoffe (VP10) konnte 1996 nicht betrieben werden, um ihre Ertüchtigung gemäß den Vorgaben der 17. BImSchV zu ermöglichen. Die Wiederinbetriebnahme der Anlage ist im 2. Quartal 1997 vorgesehen. Nach dem Umbau der Anlage können darin gleichzeitig feste und flüssige Reststoffe verbrannt werden.

Die Anlage zur Verbrennung fester β -kontaminierter Reststoffe (VP00) wurde vom 15.01. bis 30.11.1996 betrieben und danach stillgelegt. Die Anlage zur Verbrennung flüssiger kontaminierter Reststoffe (VP20) wurde vom 08.01. bis 17.08.1996 betrieben und anschließend stillgelegt. Beide stillgelegten Anlagen werden im Laufe der nächsten Jahre rückgebaut.

Tab. 5/2 gibt einen Überblick über die zulässigen Schadstoffkonzentrationen und die Gesamtableitungen im Jahr 1996. Die Emissionsfrachten für die Schadstoffe SO₂, Gesamt-C, NO_x und Staub entsprechen in etwa den Werten des Jahres 1995. Die Fracht an HCl wurde um 2/3 reduziert. In den beiden Jahren wurde annähernd die gleiche Gesamtmenge an Reststoffen verbrannt.

Schadstoff	Konzentrationsgrenzwert in mg/Nm ³	Emissionsfracht in Mg		
		Feststoffverbrennung	Lösemittelverbrennung	beide Anlagen
HCl	50	0,004	0,001	0,005
SO ₂	100	0,052	0,017	0,069
CO	100	0,474	0,033	0,507
Staub	5	0,006	0,0002	0,006
Gesamt-C	20	0,076	0,032	0,108
NO _x	-	0,557	-	0,557

Tab. 5/2: Emissionsdaten 1996 für die Verbrennungsanlagen der HDB

5.1.2.2 Versuchsanlage TAMARA

R. Walter (ITC-TAB)

Für die Versuchsanlage TAMARA besteht die Auflage zum Nachweis der folgenden mit dem Abgas emittierten Schadstoffe: Feststoffanteil, der als Staub ausgetragen wird, sowie Gehalt der Schadgase HF, HCl, SO₂ und CO. Die Massenkonzentrationen dieser Stoffe sind auf das Abgasvolumen im trockenen Normzustand anzugeben. Neben den gemessenen Schadstoffkonzentrationen und Sauerstoffgehalten sind auch die auf 17 Vol.-% Sauerstoffgehalt normierten Schadstoffkonzentrationswerte anzugeben. In Tab. 5/3 sind die Mittelwerte dieser Konzentrationen über den Zeitraum der Betriebsphase einschließlich Beginn und Ende aufgeführt. Die Genehmigungsgrenzwerte können der letzten Zeile entnommen werden. Die zulässigen Emissionsgrenzwerte wurden eingehalten.

Emissionsintervalle 1996	O ₂ in Vol.-%	Schadstoffkonzentrationen in mg/Nm ³ trocken									
		gemessen bei unterschiedlichen O ₂ -Gehalten					normiert auf O ₂ -Gehalt von 17 Vol.-%				
		HF	HCl	SO ₂	CO	Staub	HF	HCl	SO ₂	CO	Staub
25.03.-29.03.	11,6	0,3	< 2	6,9	< 10	1,2	< 2	< 2	< 3	< 10	0,5
21.06.-28.06.	11,9	< 0,2	< 2	11,4	10,9	1,2	< 2	< 2	5,0	< 10	0,5
23.09.-27.09.	12,3	< 0,2	< 2	6,8	11,3	1,5	< 2	< 2	3,1	< 10	0,7
18.10.-24.10.	12,1	< 0,2	< 2	7,7	10,8	1,6	< 2	< 2	3,8	< 10	0,7
22.11.-29.11.	12,5	< 0,2	< 2	7,6	11,4	0,9	< 2	< 2	3,6	< 10	0,4
Genehmigungsgrenzwerte:							2	50	200	100	50

Tab. 5/3: Schadstoffkonzentrationen im Abgas der Versuchsanlage TAMARA 1996

5.1.2.3 Fernheizwerk und Blockheizkraftwerk

W. Bumiller (BTI-V)

Das Blockheizkraftwerk wurde insgesamt 3 375 Betriebsstunden mit Erdgas betrieben. Der Heizölbetrieb belief sich auf sechs Stunden. Im Fernheizwerk wurden 6 875 h mit Erdgas und 235 h mit Heizöl "EL" gefahren. Der Heizölbetrieb ist auf Umbaumaßnahmen innerhalb des Heizwerkes zurückzuführen. Der Notkessel 4 im Fernheizwerk wurde 1996 nicht betrieben.

Schadstoff	Blockheizkraftwerk Jahresemission in Mg	Fernheizwerk Jahresemission in Mg
NO _x	34,7	8,8
CO	0,82	0,69

Tab. 5/4: Emissionsdaten 1996

5.1.3 Strahlenexposition in der Umgebung durch die mit der Fortluft abgeleiteten radioaktiven Stoffe 1996

A. Wicke

5.1.3.1 Berechnungsgrundlagen

Die Dosisberechnung erfolgte auf der Grundlage der monatlich bilanzierten Ableitungswerte der im Jahr 1996 zu berücksichtigenden Emittenten (s. Tab. 5/1). Dabei wurden die Körperdosen gemäß der "Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 der Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen" (AVV), Bundesanzeiger 64a, 42 (1990) berechnet. Mit Körperdosen sind im folgenden stets die über 50 Jahre integrierten Folgeäquivalentdosen gemeint.

Insbesondere wurde geprüft, ob die errechnete maximal mögliche Individualdosis für die jeweils ungünstigste Einwirkungsstelle in der Umgebung des Standortes unter Berücksichtigung sämtlicher relevanter Expositionspfade im Einklang mit den in § 45 der Strahlenschutzverordnung festgelegten Grenzwerten der Körperdosen steht. 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. Außerdem wurde von einer Akkumulation der Nuklide im Boden von 50 Jahren ausgegangen. 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 dem Bundesanzeiger 185a vom September 1989 entnommen. Um die Auswahl relevanter Klassen für die Lungenretention und Löslichkeit bei Ingestion radioaktiver Aerosole zu ermöglichen, wurden für die verschiedenen Emittenten die bei den Aerosolableitungen jeweils dominierenden oder typischen chemischen Formen zugrundegelegt oder, falls unbekannt, jeweils 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.

5.1.3.2 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 wird in zwölf 30°-Sektoren eingeteilt. Den Ausbreitungsrechnungen werden die Windgeschwindigkeit und -richtung in 60 m Höhe zugrundegelegt. 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.

Die doppelte Gebäudehöhe der Forschungsinstitute beträgt im Mittel ca. 30 m. Unterhalb einer Emissionshöhe von 30 m wird der Gebäudeeinfluß berücksichtigt, indem bei halbiertem Emissionshöhe gemäß Abschn. 4.6.2 der AVV eine Korrektur der Ausbreitungsparameter erfolgt. 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 Allgemeinen Verwaltungsvorschrift aus den dort angegebenen Ausbreitungskoeffizienten ermittelt.

5.1.3.3 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 Aerosole 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. 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.

5.1.3.4 Rechenprogramme

Die Dosisbeiträge durch β -Submersion, 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 Gamma-Strahlung in Luft kann bei der Berechnung der γ -Submersiondosis nicht so vorgegangen werden.

Hier muß für jeden Aufpunkt die Gammadosis als Summe der Dosisbeiträge der im Raum verteilten Gamma-Aktivität berechnet werden. Für diesen Zweck wird das FORTRAN-Programm WOLGA angewandt. Es gibt die Gammadosis für einen beliebigen Aufpunkt in der Umgebung eines oder mehrerer Emittenten als Summe der Dosisbeiträge der Aktivität im Raum an. Diese Berechnung wird unter Berücksichtigung der Gamma-Energien der dosisrelevanten Radionuklide durchgeführt.

5.1.3.5 Einteilung der radioaktiven Emissionen in Nuklidgruppen und Einzelnuclide

Zur Dosisberechnung ist es erforderlich, für die in Kap. 5.1 angegebenen Nuklidgruppen Leitnuclide oder charakteristische Nuklidgemische festzulegen. Die erforderlichen anlagenspezifischen Festlegungen wurden 1996 überprüft und aktualisiert.

- Nuklidgruppe A_{AK} : Aerosole mit kurzlebiger α -Aktivität (Halbwertszeit <8 Tage)

Die Abgabe kurzlebiger Rn-220-Folgeprodukte durch HIT und ITU wurde durch das Leitnuclid 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} : Aerosole mit langlebiger α -Aktivität (Halbwertszeit ≥ 8 Tage)

Die Analysen von Filtern zeigten, daß bei der Mehrzahl der Institute Pu-239 als Leitnuclid gelten kann. Ausnahmen bilden folgende Institute, bei denen aufgrund des Umgangs mit radioaktiven Stoffen andere Leitnuclide in Frage kommen:

HIT:	U-nat
PBS-FR2:	U-nat
IFIA, Bau 321a:	U-nat
IFIA, Bau 341:	Pu-238

Für HDB wurde ein konservatives Aktivitätsgemisch aus Pu-238 (46 %), Pu-239 (7 %), Pu-240 (10 %) und Am-241 (37 %) angenommen. Die relativen Anteile wurden nach KORIGEN für den Umgang mit kernbrennstoffhaltigen Reststoffen mit einem mittleren Abbrand von 30 000 MWd/t und einer Kühlzeit von drei Jahren berechnet. Es wird eine Ableitung in nitrosen Form angenommen. Bei der Verbrennungsanlage der HDB (Bau 536) und der Wäscherei (BTI-V, Bau 705) wird eine Ableitung als Oxide oder Hydroxide angenommen.

Bei der Festlegung des Nuklidspektrums für die WAK wurde das Nuklidspektrum des HAWC (high active waste concentrate) und das EIS-Spektrum (erweiterte Inventurspülung) mit 0,4 bzw. 0,6 gewichtet.

- Nuklidgruppe A_{BK} : Aerosole mit kurzlebiger β -Aktivität (Halbwertszeit <8 Tage)

Für die Ableitung kurzlebiger β -Aktivität wurden folgende Leitnuclide angenommen:

HZY-KIZ:	Cl-38
HZY-KAZ und Boxenabluft:	Rb-81

- Nuklidgruppe A_{BL} : Aerosole mit langlebiger β -Aktivität einschl. reiner Gammastrahler (Halbwertszeit ≥ 8 Tage)

Bei der Ableitung langlebiger β -aktiver Aerosole wurden bei der Mehrzahl der Emittenten Spaltproduktgemische berücksichtigt. Bei einigen Instituten beschränkt sich der Umgang bzw. die Produktion auf bestimmte Radionuklide. Folgende Leitnuclide wurden daher für die Dosisberechnung zugrundegelegt:

IGEN, Bau 317:	S-35
HZY-KIZ, Bau 351:	Be-7
HZY-KAZ und Boxenabluft, Bau 351:	TI-201

Bei den Emittenten HVT-HZ, ITC-CPV, IFIA (Bau 321a), ITU, KBG-KNK, KBG-MZFR und INE wurde konservativ ein β -aktives Spaltproduktgemisch zugrundegelegt, das sich nach KORIGEN unter Annahme eines mittleren Abbrandes von 30 000 MWd/t und einer Kühlzeit von drei Jahren errechnet. Bei diesen Emittenten wurden 10 % der Ableitung der Gruppe A_{BL} als Sr-90 berücksichtigt. Bei ITC-CPV und bei ITU wurde zusätzlich angenommen, daß 10 % der Emission der Gruppe A_{BL} als Pu-241 abgeleitet wird.

Bei den Anlagen der HDB wurden die bei früheren Messungen ermittelten Nuklidspektren des MAW-Destillats als charakteristisch angenommen. Ausnahmen:

- HDB, Bau 536 (Verbrennungsanlagen): hier wurden die Angaben in den Deklarationsscheinen der zu verarbeitenden Reststoffe für die Definition der Nuklidspektren herangezogen
- HDB, Bau 545/555: entsprechend den Messungen des LAW-Destillats wurde Cs-137 als Leitnuklid festgelegt.

Bei der WAK wurde ein Nuklidspektrum zugrundegelegt, das sich aus dem Nuklidspektrum des HAWC und dem sog. EIS-Spektrum zusammensetzt (siehe Nuklidgruppe A_{AL}). Dabei werden Sr-90 und Pu-241 separat berücksichtigt.

- Nuklidgruppe E/G_K: Radioaktive Edelgase und kurzlebige Aktivierungsgase

Das Leitnuklid ist grundsätzlich Kr-85. Lediglich beim INR und beim INFP wurden die Emissionen radioaktiver Edelgase als Ar-41 berücksichtigt. Bei HZY-KAZ und HZY-KIZ wurde das kurzlebige Aktivierungsgas N-13 als Leitnuklid angenommen.

- Nuklidgruppe I: Radioaktive Iodisotope

Die Dosisberechnung wird mit allen bilanzierten Iodisotopen durchgeführt. Dabei wird konservativerweise die Ableitung in elementarer Form angenommen.

- 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 konservativerweise ebenfalls eine Ableitung in vollständig oxidiertem Form angenommen.

- C-14

Es wird eine Ableitung in Form von ¹⁴CO₂ zugrundegelegt.

5.1.3.6 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 ermittelte Effektivdosis am jeweiligen Immissionsmaximum wurde bereits in Tab. 5/1 in der letzten Spalte aufgeführt. Nach Überlagerung der Auswirkungen aller Emittenten ergeben sich - aufgeschlüsselt nach den zu berücksichtigenden Expositions-

pfaden - für die ungünstigsten Einwirkungsstellen außerhalb des Betriebsgeländes 1996 die in Tab. 5/5 aufgeführten maximalen rechnerischen Beiträge zur effektiven Dosis.

Expositions-pfad	Maximale effektive Dosis	
	für Kleinkinder	für Erwachsene
Inhalation	0,05 µSv	0,06 µSv
Ingestion	0,53 µSv	0,43 µSv
Gammasubmersion	0,38 µSv	0,32 µSv
Gammabodenstrahlung	0,01 µSv	0,01 µSv
Summe über alle Expositionspfade	0,96 µSv	0,82 µSv

Tab. 5/5: Maximale rechnerische Strahlenexposition 1996 in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe

Die Einzelergebnisse für die betrachteten Expositionspfade - aufgeschlüsselt nach den in Tab. X2 der Strahlenschutzverordnung aufgeführten Organen und Geweben - sind für Kleinkinder und Erwachsene in Tab. 5/6a und Tab. 5/6b zusammengestellt. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen für Inhalation, Ingestion, Gammasubmersion und Gammabodenstrahlung sind im Lageplan Abb. 5/1 gekennzeichnet.

Die regionale Verteilung der Effektivdosen für Erwachsene in der Umgebung des Forschungszentrums als Summe der Dosisbeiträge aller Expositionspfade am jeweils betrachteten Ort ist in Abb. 5/4 graphisch in Form von Isodosislinien dargestellt.

Obwohl diese Dosisberechnung bereits die Emissionen der WAK mitberücksichtigt, wird gemäß behördlicher Auflage eine gesonderte Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe durch die mit der Fortluft der WAK abgeleitete Aktivität durchgeführt. Die für WAK allein errechneten Teilkörper- und Effektivdosen an der jeweils ungünstigsten Einwirkungsstellen außerhalb des Betriebsgeländes des Forschungszentrums sind für Kleinkinder und Erwachsene in Tab. 5/7a und Tab. 5/7b zusammengestellt.

Für den gesamten Standort ergibt sich für 1996 rechnerisch eine mittlere Effektivdosis für die Bevölkerung (Erwachsene) im Umkreis von 5 km oder 20 km um das Forschungszentrum von 0,05 µSv oder 0,02 µSv. Der Berechnung wurde die folgende Beziehung zugrundegelegt, in der p_i die Einwohnerzahl des Ortes i und H_i die errechnete Effektivdosis am Ort i bedeuten:

$$H = \frac{\sum p_i \cdot H_i}{\sum p_i}$$

Insgesamt zeigen die Berechnungsergebnisse, daß die durch § 45 der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Dosisgrenzwerte auch im Jahr 1996 deutlich unterschritten wurden.

Körperbereich	maximale Körper-Folgedosen und Effektivdosen in μSv für Kleinkinder					
	Inhalation	Ingestion	Gamma-submersion	Gammabodenstrahlung	Beta-submersion	Summe
Keimdrüsen	0,044	0,49	0,38	0,006	-	0,92
Brust	0,043	0,49	0,38	0,009	-	0,92
Rotes Knochenmark	0,047	0,50	0,38	0,007	-	0,93
Lunge	0,057	0,49	0,38	0,007	-	0,93
Schilddrüse	0,057	1,63	0,38	0,008	-	2,1
Knochenoberfläche	0,086	0,51	0,38	0,009	-	0,99
Haut*	0,043	0,49	0,38	0,010	0,92	1,8
Sonstige	< 0,06	< 0,5	0,38	<0,008	-	< 0,95
Effektive Dosis	0,047	0,53	0,38	0,007	-	0,96
ungünstigste Einwirkungsstelle**	-565/0	200/750	-640/-370	420/1480	-640/-370	-

* gemäß Anlage X StrlSchV kein Beitrag zur effektiven Dosis

** x/y-Koordinaten in m, bezogen auf Bau 614 (ehemaliger FR2-Kamin) (s. Abb. 5/1)

Tab. 5/6a: 50-Jahre-Folgedosen an den ungünstigsten Einwirkungsstellen für Kleinkinder aufgrund der radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft des Forschungszentrums Karlsruhe im Jahr 1996

Körperbereich	maximale Körper-Folgedosen und Effektivdosen in μSv für Erwachsene					
	Inhalation	Ingestion	Gamma-submersion	Gammabodenstrahlung	Beta-submersion	Summe
Keimdrüsen	0,058	0,39	0,32	0,005	-	0,77
Brust	0,057	0,38	0,32	0,008	-	0,77
Rotes Knochenmark	0,063	0,39	0,32	0,005	-	0,78
Lunge	0,060	0,38	0,32	0,006	-	0,77
Schilddrüse	0,065	1,76	0,32	0,007	-	2,2
Knochenoberfläche	0,127	0,44	0,32	0,008	-	0,90
Haut*	0,057	0,38	0,32	0,008	0,92	1,7
Sonstige	< 0,07	< 0,4	0,32	< 0,008	-	< 0,8
Effektive Dosis	0,060	0,42	0,32	0,006	-	0,81
ungünstigste Einwirkungsstelle**	-565/0	200/750	-640/-370	420/1480	-640/-370	-

* gemäß Anlage X StrlSchV kein Beitrag zur effektiven Dosis

** x/y-Koordinaten in m, bezogen auf Bau 614 (ehemaliger FR2-Kamin) (s. Abb. 5/1)

Tab. 5/6b: 50-Jahre-Folgedosen an den ungünstigsten Einwirkungsstellen für Erwachsene aufgrund der radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft des Forschungszentrums Karlsruhe im Jahr 1996

Körperbereich	maximale Körper-Folgedosen und Effektivdosen in μSv für Kleinkinder					
	Inhalation	Ingestion	Gamma-submersion	Gammabodenstrahlung	Beta-submersion	Summe
Keimdrüsen	0,004	0,003	0,019	0,008	-	0,034
Brust	< 0,001	0,002	0,019	0,008	-	0,03
Rotes Knochenmark	0,007	0,009	0,019	0,006	-	0,041
Lunge	0,002	0,002	0,019	0,007	-	0,030
Schilddrüse	0,002	1,17	0,019	0,008	-	1,23
Knochenoberfläche	0,063	0,028	0,019	0,008	-	0,12
Haut*	< 0,001	0,002	0,019	0,009	0,004	0,034
Sonstige	< 0,006	< 0,01	0,019	< 0,008	-	< 0,043
Effektive Dosis	0,005	0,040	0,019	0,007	-	0,071
ungünstigste Einwirkungsstelle**	-173/1083	420/1480	0/1290	420/1480	-173/1083	-

* gemäß Anlage X StrlSchV kein Beitrag zur effektiven Dosis

** x/y-Koordinaten in m, bezogen auf Bau 614 (ehemaliger FR2-Kamin)

Tab. 5/7a: 50-Jahre-Folgedosen an den ungünstigsten Einwirkungsstellen für Kleinkinder aufgrund der radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft der WAK 1996

Körperbereich	maximale Körper-Folgedosen und Effektivdosen in μSv für Erwachsene					
	Inhalation	Ingestion	Gamma-submersion	Gammabodenstrahlung	Beta-submersion	Summe
Keimdrüsen	0,002	0,008	0,016	0,007	-	0,033
Brust	0,003	0,006	0,016	0,007	-	0,032
Rotes Knochenmark	0,008	0,020	0,016	0,005	-	0,049
Lunge	0,001	0,007	0,016	0,006	-	0,030
Schilddrüse	0,002	1,35	0,016	0,006	-	1,37
Knochenoberfläche	0,099	0,081	0,016	0,007	-	0,20
Haut*	< 0,001	0,005	0,016	0,008	0,004	0,033
Sonstige	< 0,008	< 0,05	0,016	< 0,007	-	< 0,081
Effektive Dosis	0,006	0,052	0,016	0,006	-	0,080
ungünstigste Einwirkungsstelle**	-173/1083	420/1480	0/1290	420/1480	-173/1083	-

* gemäß Anlage X StrlSchV kein Beitrag zur effektiven Dosis

** x/y-Koordinaten in m, bezogen auf Bau 614 (ehemaliger FR2-Kamin)

Tab. 5/7b: 50-Jahre-Folgedosen an den ungünstigsten Einwirkungsstellen für Erwachsene aufgrund der radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft der WAK 1996

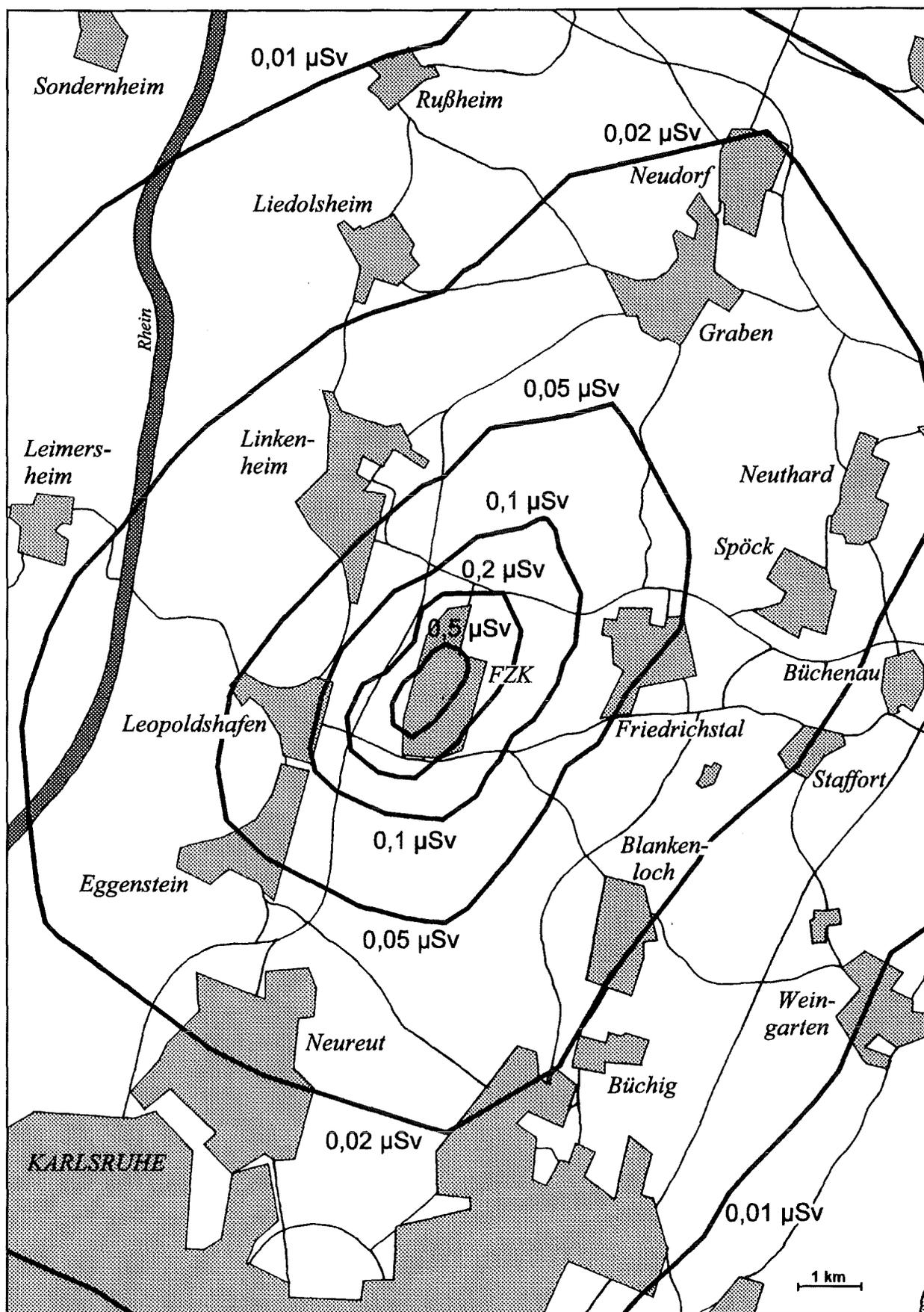


Abb. 5/4: Effektivdosen in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe, 50-Jahre-Folgedosis aufgrund der radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft 1996

5.2 Abwasserüberwachung und Spektrometrie

K.-G. Langguth

Die Gruppe "Abwasserüberwachung und Spektrometrie" ist einerseits zuständig für die Überwachung radioaktiver Stoffe in den Abwassersystemen auf dem Betriebsgelände des Forschungszentrums Karlsruhe. Diese Aufgabe umfaßt sowohl die Umsetzung der Auflagen der atomrechtlichen Genehmigung in ein Überwachungskonzept, als auch die Durchführung der Aktivitätsmessungen einschließlich der Entscheidung über die Weiterverarbeitung der Abwässer. Andererseits nimmt die Gruppe auch die Aufgaben eines zentralen Meßlabors für die Abteilung Umweltschutz wahr. Es werden hier sowohl alle Messungen zur Bilanzierung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft, als auch alle spektrometrischen Messungen an Umweltproben durchgeführt.

Mit Beginn des Jahres 1995 wurden zusätzliche Aufgaben im Rahmen des neu gegründeten Freimeßlabors übernommen (s. Kap. 5.5). So werden für die Freigabe von radioaktiven Reststoffen in der Gruppe alle α - und γ -spektrometrischen Messungen sowie die H-3- und C-14-Messungen durchgeführt. Tab. 5/8 gibt eine Übersicht über Herkunft, Art und Anzahl der Proben, die bearbeitet wurden, sowie über Art und Anzahl der daran durchgeführten Einzelmessungen.

Meßzweck	Anzahl der Proben	Anzahl der durchgeführten Messungen					
		α	β	Flüssigszintillation		α -Spektrometrie	γ -Spektrometrie
				H-3, C-14, S-35	Spektroskopie		
Abwasserüberwachung							
- Abwassersammelstationen	1626	1638	1638	425	35	16	438
- Endbecken (Einzelproben)	246	246	246	280	2	-	335
- Endbecken (Mischproben)	161	64	64	91	-	14	118
Klärschlammüberwachung (Chemie- und Schmutzwasserschamm)	42	58	58	-	-	-	-
Betriebliche Überwachung der Abwassereinzugssysteme	260	199	199	255	-	12	100
Sondermessungen	88	7	7	27	20	4	70
Überwachung der Fortluft (s. Kap. 5.1.1)	3568	2486	2486	1345	6	-	1451
Freimeßlabor	2196	27	27	677	29	132	1605
Entwicklungsarbeiten	320	-	-	640	220	-	800
Umgebungsüberwachung	770	-	-	524	-	122	150
Auftragsmessungen							
- Fortluftüberwachung für MZFR + KNK	153	-	-	153	-	-	-
- externe Aufträge	43	-	-	30	-	-	13
Qualitätskontrolle	-	2243	2243	1832	20	127	810
Ringversuche	21	32	32	4	-	-	29
Training von Gastwissenschaftlern	239	10	10	-	-	234	-

Tab. 5/8: Art und Anzahl der Proben sowie der 1996 in der Gruppe "Abwasserüberwachung und Spektrometrie" durchgeführten Einzelmessungen

5.2.1 Abwasserüberwachung

K.-G. Langguth, A. Radziwill-Ouf, Chr. Wilhelm, J. Lenfant, H. Genzer

Die Überwachung des auf dem Betriebsgelände des Forschungszentrums Karlsruhe anfallenden Abwassers erfolgt im Rahmen des wasserrechtlichen Erlaubnisbescheids und der atomrechtlichen Genehmigung, die von den zuständigen Behörden des Landes Baden-Württemberg erteilt wurden. Die Überwachung nichtradioaktiver Stoffe wird durch das "Labor für Wasser und Umwelt" des BTI/V durchgeführt. Das 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 (1996 ca. 280 000 m³) und das von versiegelten Flächen abfließende Niederschlagswasser (1996 ca. 270 000 m³) wird 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 (s. Sandfänge, Lageplan Nr. 2 in Kap. 5.3) durch kontinuierliche Probenahme überwacht.

Die häuslichen Abwässer werden der biologischen Kläranlage zugeführt, in mehreren Verfahrensschritten gereinigt und schließlich in den Endbecken für häusliches Abwasser gesammelt (s. Abb. 5/5). Nach Messung der Konzentration nichtradioaktiver Stoffe und nach einer Aktivitätskontrollmessung wird anhand der Ergebnisse über die Ableitung des Abwassers in den Vorfluter entschieden.

Die im Forschungszentrum Karlsruhe 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 (Chemieabwasser II), werden am Anfallort in sogenannten Abwassersammelstationen gesammelt. Anhand der von der Gruppe "Abwasserüberwachung und Spektrometrie" durchgeführten Aktivitätsmessung wird gemäß der atomrechtlichen Genehmigung über die Einleitung der Abwässer in die Chemiekläranlage oder Einspeisung in die Dekontaminationsanlage entschieden.

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 Endbecken für Chemieabwasser mit je 750 m³ Fassungsvermögen gesammelt (s. Abb. 5/5). Im gereinigten Abwasser werden die Konzentrationen der radioaktiven und bestimmter nichtradioaktiven Stoffe ermittelt und anhand der atomrechtlichen Genehmigung und der wasserrechtlichen Erlaubnis über die Ableitung entschieden. Über einen 2,9 km langen Rohrkanal gelangen die Abwässer in den Rheinniederungskanal, bis sie nach 23,6 km den Rhein erreichen.

Zusätzlich zu den Entscheidungsmessungen, die vor Abgabe des Abwassers aus den Abwassersammelstationen, der Dekontaminationsanlage und den Endbecken durchzuführen sind, wird die mit dem Abwasser des Forschungszentrums abgeleitete Aktivität durch nuklidspezifische Analysen von Wochen- und Monatsmischproben, die mengenproportional aus Teilmengen der einzelnen abgeleiteten Abwasserchargen herzustellen sind, bilanziert. Die bilanzierte Aktivität darf die ebenfalls in der atomrechtlichen Genehmigung festgelegten Jahreshöchstwerte für Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser nicht überschreiten. Die dem Forschungszentrum genehmigten Ableitungswerte wurden unter Anwendung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 StrlSchV nach den im folgenden beschriebenen Verfahren aus den Dosisgrenzwerten des § 45 StrlSchV berechnet.

Für die am Standort des Forschungszentrums zu berücksichtigenden Expositionspfade und für die beiden Bevölkerungsgruppen "Erwachsene" und "Kleinkinder" wurden für jedes Radionuklid n jene Aktivitätsmengen berechnet, die bei Ableitung mit dem Abwasser nach den Modellen der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift eine Strahlenexposition bewirken, die gerade den Grenzwerten des § 45 der Strahlenschutzverordnung für die effektive Äquivalentdosis und für die jeweiligen Teilkörper- bzw. Organdosen entsprechen (integrierte Folgeäquivalentdosis H_{50}). Jeweils der kleinste sich dabei für jedes Radionuklid n ergebende Aktivitätswert wurde als Jahreshöchstwert J_n für die Ableitung festgelegt.

Da mit dem Abwasser des Forschungszentrums Karlsruhe ein Gemisch an Radionukliden abgegeben wird, ist zur Einhaltung der Dosisgrenzwerte die Aktivitätsableitung zusätzlich durch die Anwendung der Summenformel auf die Quotienten aus den bilanzierten Aktivitätsableitungen A_n und den Jahreshöchstwerten J_n zu begrenzen. Nach der Genehmigung darf die Summe den Wert von $2/3$ nicht überschreiten.

$$\sum_n \frac{A_n}{J_n} < 2/3.$$

Die nach diesem Verfahren für das Abwasser des Forschungszentrums festgelegten Jahreshöchstwerte J_n wurden 1993 durch einen von der Aufsichtsbehörde bestimmten Gutachter überprüft.

Die maximalen Konzentrationen für die Aktivitätsabgaben mit einzelnen Endbeckenfüllungen $K_{n,E}$ wurden auf das fünffache der zulässigen Aktivitätskonzentrationen begrenzt, die sich als Quotient aus den Jahreshöchstwerten J_n und dem im Referenzjahr 1990 abgegebenen Abwasservolumen V ergibt.

$$K_{n,E} = 5 J_n / V.$$

Durch den Faktor 5 wird den zeitlichen Betriebsabläufen in den Abwassersystemen und meßtechnischen Möglichkeiten bei den Kontrollmessungen Rechnung getragen. Die maximalen Konzentrationen für Abwasserableitungen aus den Behältern der Abwassersammelstationen $K_{n,A}$ und aus den Übergabebehältern der Dekontaminationsanlage $K_{n,D}$ in das Klärwerk wurden als Vielfache der maximal zulässigen Konzentrationen einzelner Endbeckenfüllungen festgelegt. Die Faktoren ergeben sich aus den über das Jahr gemittelten Mischungsverhältnissen von aktivitätsfreiem und kontaminiertem Chemieabwasser:

$$K_{n,A} = 6 K_{n,E}$$

$$K_{n,D} = 20 K_{n,E}$$

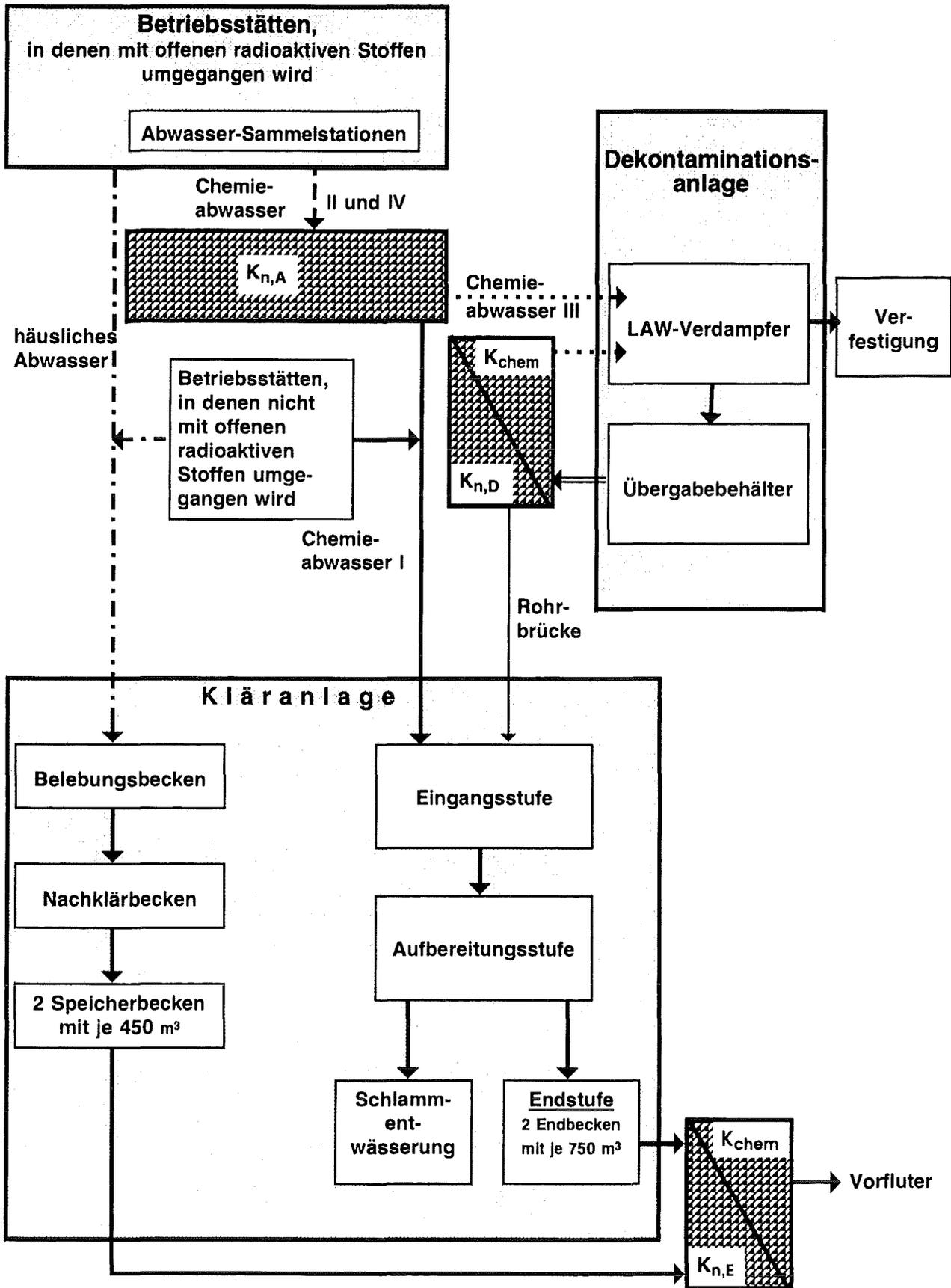


Abb. 5/5: Vereinfachtes Fließschema der Abwässer im Forschungszentrum Karlsruhe ($K_{n,X}$: Kontrollmessung radioaktiver Stoffe; K_{chem} : Kontrollmessung nicht-radioaktiver Stoffe)

Zusätzlich werden die Konzentrationen für die Aktivitätsableitungen aus den Endbecken und aus den Behältern der Abwassersammelstationen und der Dekontaminationsanlage durch die Anwendung der Summenformel auf die Quotienten aus den gemessenen Konzentrationen begrenzt. Die Summe darf den Wert von 1 nicht überschreiten.

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 BMU vom 05.02.1996 angewandt. Danach werden durch das Bundesamt für Strahlenschutz, das als beauftragter Sachverständiger von der Behörde beigezogen wurde, Kontrollmessungen an Monatsmischproben durchgeführt.

5.2.2 System zur zentralen Erfassung und Dokumentation der Meßdaten zur Abwasserüberwachung mit Ankopplung an das HDB-Datensystem

Chr. Wilhelm

Durch ein Datensystem auf PC-Basis werden alle Ergebnisse der Radioaktivitätsmessungen an Proben zur Abwasserüberwachung erfaßt und zur Beurteilung an eine Zentraleinheit weitergeleitet. Nach Beurteilung der Analysenergebnisse erfolgt eine vorläufige Dokumentation und ein Datensatz mit Entscheid über die Weiterverarbeitung des Abwassers wird automatisch an das Datensystem der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) weitergeleitet.

Der Aufbau des Datensystems ist in Abb. 5/6 schematisch dargestellt. Die PC der Meßgeräte sind über das LAN an zwei redundante Server, die zur Datensicherung zusätzlich mit Bandlaufwerken ausgestattet sind, angeschlossen. Für eine Bearbeitung der Proben- und für die Eingabe der Entscheidung über die Weiterverarbeitung des Abwassers stehen zwei Daten-PC zur Verfügung. Vom Schichtpersonal der Abteilung Strahlenschutz wird die Überwachung des Abwassers außerhalb der regulären Arbeitszeit durchgeführt.

Die Daten-PC kommunizieren über ein Telegramm-Protokoll mit dem ADOS-Datensystem eines Großrechners der HDB. Ein Kopplungs-PC, der einerseits mit dem LAN und andererseits über eine 3270-Emulation mit dem Großrechner verbunden ist, übernimmt die Kommunikation zwischen dem LAN-PC-System und dem Großrechner.

Für die Bearbeitung der Proben- und die Kommunikation mit dem ADOS-Datensystem wurde das Programm ABWADAT entwickelt. Vor Eingaben in die Daten-PC muß sich der Benutzer über einen Kartenleser mit der ihm persönlich zugeordneten Code-Karte identifizieren. Durch ABWADAT wird dann die Berechtigung für Eingaben entsprechend dem innerbetrieblichen Entscheidungsbereich, der dem Benutzer übertragen wurde, überprüft. Das ADOS-System wiederum kommuniziert mit dem AWUS-System des Prozeßrechners, der das Abwassersystem auf dem Gelände des Forschungszentrums steuert.

Bei Störung dieses Übertragungsweges werden die Entscheide bezüglich der Weiterverarbeitung der Abwässer über ein zusätzliches serielles Kabel direkt an AWUS übertragen. Im Jahre 1996 gab es keinen Totalausfall, da in jedem Anforderungsfall zumindest die direkte Übermittlung der Entscheide an das Klärwerkssystem AWUS funktionierte. Die Verfügbarkeit des Gesamtsystems lag bei >95 %. Die Laborsoftware ABWADAT zeigte im Berichtsjahr keine nennenswerten Störungen, so daß die Ausfallzeit mit kleiner als 1 % angegeben werden kann.

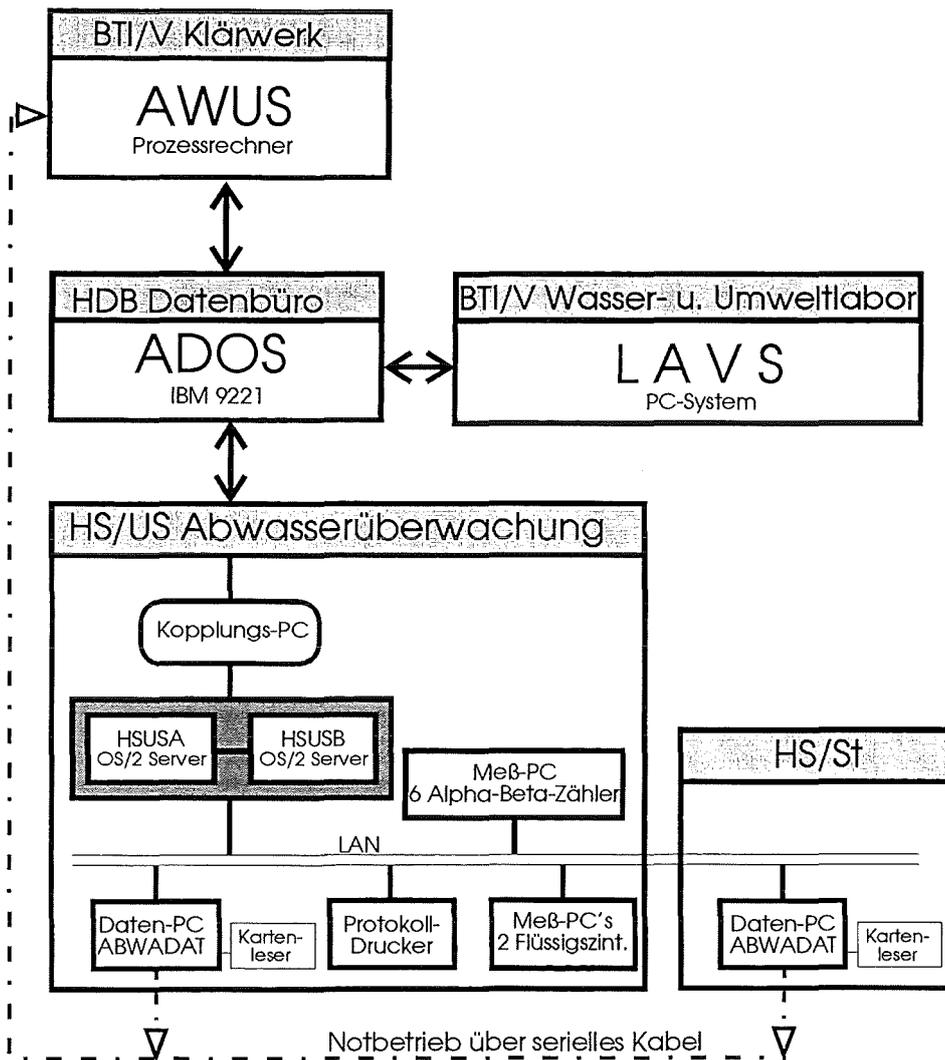


Abb. 5/6: Fließschema der Daten zur Abwasserüberwachung zwischen HDB-, HS- und BTI-Datensystemen

5.2.3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser 1996

A. Radziwill-Ouf, Chr. Wilhelm, J. Lenfant, H. Genzer

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wird anhand von Mischproben bilanziert. Dazu werden mengenproportionale Proben der einzelnen Endbeckenfüllungen zu Wochen- und Monatsmischproben vereinigt und am Ende des Sammelzeitraumes analysiert. Neben den Gesamtaktivitätsmessungen werden auch nuklidspezifische Messungen mittels Gammaskopie durchgeführt. Bei Monatsmischproben werden diese Messungen durch eine chemische Aufbereitung der Proben zur getrennten Bestimmung der Konzentration von Strontium- und Plutoniumisotopen sowie von C-14 und S-35 ergänzt.

In der Tab. 5/9 sind die anhand von Monatsmischproben ermittelten Gesamtableitungen radioaktiver Stoffe für 1996 wiedergegeben. Zum Vergleich sind die Vorjahreswerte und die Genehmigungswerte für Einzelnuklide angegeben. Zur Einhaltung der atomrechtlichen Genehmigung ist für die nachgewiesenen Radionuklide zu gewährleisten, daß die Summe der Verhältniszahlen aus der gemessenen Aktivitätsabgabe und den Genehmigungswerten der einzelnen Radionuklide kleiner als 2/3 ist.

Radionuklid	Genehmigungswerte J_n für die Aktivitätsabgaben in Bq/a	bilanzierte Ableitungen in Bq/a	
		1996	1995
H-3	1,6 E+14	7,2 E+12	1,4 E+13
C-14	6,4 E+10	0	7,3 E+07
Sr-90	7,0 E+09	1,9 E+06	3,2 E+06
Cs-137	6,5 E+09	1,5 E+07	1,1 E+07
Pu-238	1,1 E+09	5,9 E+04	1,2 E+05
Pu-239+240	9,7 E+08	2,3 E+05	2,2 E+05
Pu-241	5,0 E+10	3,8 E+07	3,3 E+07
aus dem Forschungszentrum abgeleitete Abwassermenge in m ³	-	117 500	126 700

Tab. 5/9: 1996 aus dem Forschungszentrum Karlsruhe in den Vorfluter abgeleitete Abwassermenge und -aktivität sowie Genehmigungswerte gemäß atomrechtlicher Genehmigung

Bei den bilanzierten Ableitungen dominiert das in Form von HTO abgeleitete Tritium. Einen Überblick über die Entwicklung der mit dem Abwasser des Forschungszentrums Karlsruhe in den letzten 25 Jahren in den Vorfluter abgeleiteten Tritiumaktivität gibt Abb. 5/7.

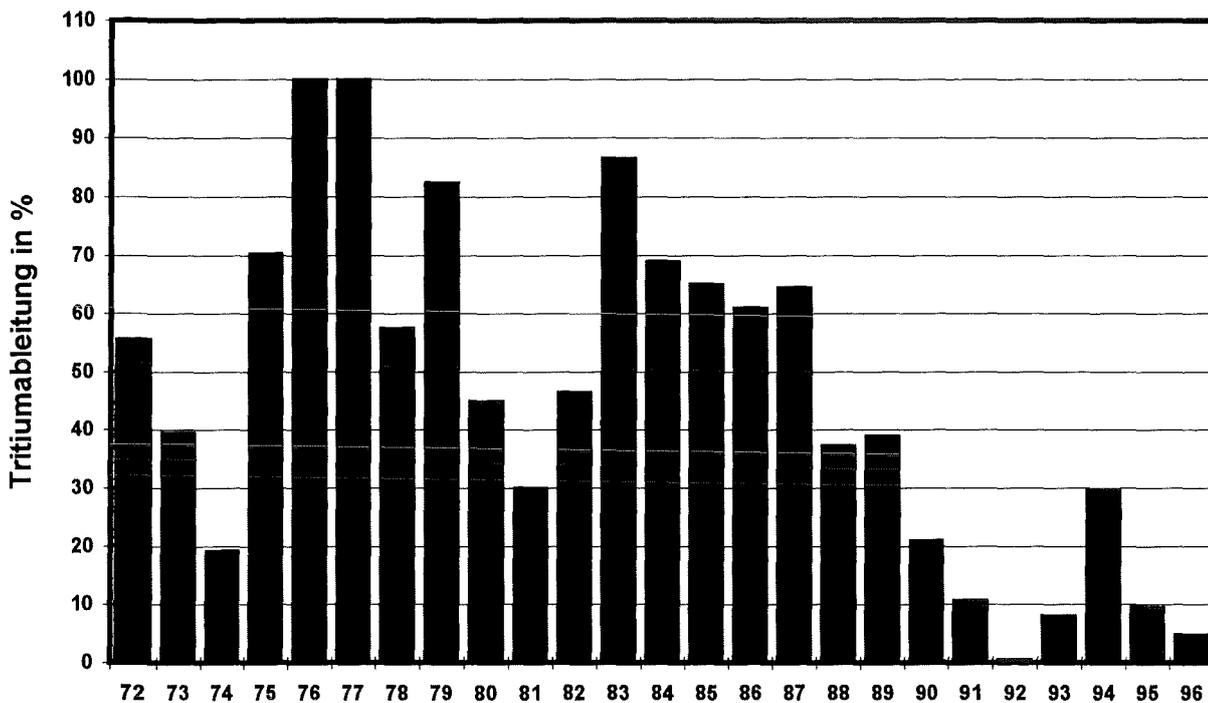


Abb. 5/7: Entwicklung der mit dem Abwasser aus dem Forschungszentrum Karlsruhe jährlich abgeleiteten Tritiumaktivität seit 1972 (1976 = 100 %)

5.2.4 Ableitung nichtradioaktiver Stoffe mit dem Abwasser 1996

K.-G. Langguth, W. Bumiller (BTI/V)

Die Überwachung der aus den Endbecken der Kläranlagen für häusliches Abwasser und für Chemieabwasser in den Vorfluter eingeleiteten Abwässer hinsichtlich nichtradioaktiver Stoffe (s. Tab. 5/10) wird von BTI/V durchgeführt.

Bezeichnung der Stoffe	Chemieabwasser		häusliches Abwasser	
	Ableitung kg	Mittelwert g/m ³	Ableitung kg	Mittelwert g/m ³
biochem. Sauerstoffbedarf (BSB-5)	-	-	1,3 E + 02	2,1 E + 00
Trockenrückstand	7,6 E + 04	1,3 E + 03	4,3 E + 04	7,1 E + 02
chem. Sauerstoffbedarf (CSB)	2,0 E + 03	2,2 E + 01	2,1 E + 03	3,6 E + 01
adsorbierbare organ. Halogenverb. (AOX)	2,7 E + 00	4,7 E - 02	2,0 E + 00	3,2 E - 02
mineralöhlähnliche Kohlenwasserstoffe (KW)	6,8 E + 00	1,2 E - 01	6,7 E + 00	1,1 E - 01
flüchtige organ. Halogenverb. (POX)	1,3 E + 00	2,2 E - 02	-	-
organ. Gesamtkohlenstoff (TOC)	4,4 E + 02	8,0 E + 00	7,0 E + 02	1,2 E + 01
Gesamt-Stickstoff	-	-	1,5 E + 03	2,5 E + 01
organisch gebundener Stickstoff	-	-	1,7 E + 02	2,9 E + 00
Chlorid	1,8 E + 04	3,2 E + 02	6,3 E + 03	1,0 E + 02
Nitrat	8,1 E + 02	1,6 E + 01	5,7 E + 03	9,5 E + 01
Nitrit	5,2 E + 01	9,3 E - 01	1,6 E + 01	2,6 E - 01
Phosphat	1,5 E + 02	3,0 E + 00	2,0 E + 03	3,3 E + 01
Sulfat	2,1 E + 04	3,6 E + 02	5,5 E + 03	9,2 E + 01
Ammonium	2,7 E + 02	4,7 E + 00	8,1 E + 01	1,3 E + 00
Cadmium	<2,7 E - 01	4,8 E - 03	<3,1 E + 01	5,0 E - 03
Chrom	<5,4 E - 01	9,9 E - 03	<6,0 E - 01	1,0 E - 02
Eisen	3,8 E + 01	6,7 E - 01	5,0 E + 00	0,8 E - 01
Quecksilber	<1,0 E - 02	1,6 E - 04	<1,0 E - 03	1,0 E - 04
Blei	<2,2 E + 00	3,9 E - 02	<2,5 E + 00	4,0 E - 02
Kobalt	<1,0 E + 00	2,0 E - 02	<1,2 E + 00	2,0 E - 02
Kupfer	<1,2 E + 00	<2,6 E - 02	<1,7 E + 00	2,7 E - 02
Mangan	2,6 E + 00	5,0 E - 02	<1,2 E + 00	2,0 E - 02
Nickel	<4,8 E + 00	8,4 E - 02	1,2 E + 00	2,0 E - 02
Zink	2,6 E + 00	5,0 E - 02	9,3 E + 00	1,6 E - 01

Tab. 5/10: Bilanzierte Mengen und Jahreskonzentrationsmittelwerte der 1996 mit dem Chemieabwasser (55 700 m³) und dem häuslichen Abwasser (61 800 m³) in den Vorfluter abgeleiteten nichtradioaktiven Stoffe

Zur Ermittlung der Jahresabgaben dienen dabei die Ergebnisse der Messungen, die an den einzelnen Endbeckenchargen gemäß den Vorgaben des wasserrechtlichen Erlaubnisbescheides und der Eigenkontrollverordnung des Landes Baden-Württemberg durchgeführt wurden. Darüber hinaus wurden zahlreiche weitere Stoffe als Eigenkontrolle in die Überwachung einbezogen. In Tab. 5/10 sind die bilanzierten Ableitungen mit dem häuslichen Abwasser und dem Chemieabwasser sowie die errechneten Jahreskonzentrationsmittelwerte für Jahr 1996 wiedergegeben. Die Genehmigungswerte wurden in keinem Fall überschritten. Dies bestätigen auch die amtlichen Überwachungsmessungen.

Das Volumen des abgeleiteten Chemieabwassers hat 1996 gegenüber dem Vorjahr um 8,1 %, das des häuslichen Abwassers um 6,5 % abgenommen. Bei der Chemiekläranlage erreichte die Ableitung von CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) und KW (mineralöl-ähnliche Kohlenwasserstoffe) ähnliche Werte wie im Vorjahr. Die bereits in den Jahren 1994 und 1995 festgestellten niedrigen Frachten an AOX und TOC sind im Jahr 1996 ebenfalls wieder erreicht worden. Die Phosphat-, Nitrat- und Nitritfrachten konnten 1996 gleichfalls auf dem niedrigen Niveau des Vorjahres gehalten werden.

Der in den letzten Jahren erreichte stabile und störungsfreie Betrieb der biologischen Kläranlage konnte auch 1996 aufrechterhalten werden. In der biologischen Anlage erreichten die Ableitungen von AOX, TOC und Ammonium ähnlich niedrige Werte wie im Vorjahr. Die Nitrat-Fracht konnte auf dem Niveau des Vorjahres gehalten werden.

5.2.5 Strahlenexposition in der Umgebung durch die mit dem Abwasser abgeleiteten radioaktiven Stoffe 1996

K.-G. Langguth

Die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser des Forschungszentrums Karlsruhe resultierende Strahlenexposition von Personen, die sich am Rheinniederungskanal, der als Vorfluter dient, aufhalten und Lebensmittel aus diesem Gebiet konsumieren, kann nach den in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 StrlSchV angegebenen Modellen berechnet werden. Dabei kann entweder von den bilanzierten Aktivitätsableitungen oder, realistischer, von den gemessenen Aktivitätsgehalten im Trinkwasser und in Lebensmitteln ausgegangen werden. Beide hier vorgelegten Berechnungsergebnisse zeigen, daß die ermittelten Dosen die Dosisgrenzwerte des § 45 der Strahlenschutzverordnung deutlich unterschreiten.

5.2.5.1 Berechnung der Strahlenexposition aus den bilanzierten Aktivitätsableitungen

Die Berechnung wurde mit Hilfe des Rechenprogrammes RHEIN-1 durchgeführt. RHEIN-1 berechnet die über 50 Jahre integrierten Folgeäquivalentdosen entsprechend den Modellen der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift. Es wurden die Effektivdosen und die Dosen des relativ am stärksten exponierten Organs jeweils für Erwachsene und Kleinkinder berechnet. Bei der Berechnung wurden alle für den Standort des Forschungszentrums Karlsruhe relevanten Expositionspfade berücksichtigt. Als mittlerer Wert für den Durchfluß im Rheinniederungskanal wurde der der Genehmigung zugrundeliegende Wert von 0,7 m³/s verwendet. Tab. 5/11 enthält die Rechenergebnisse für die effektiven Dosen und die Dosen für die jeweils am stärksten exponierten Organe für Erwachsene und Kleinkinder.

bilanzierte Aktivitätsableitungen 1996		maximale Körper-Folgedosen in µSv			
		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	7,2 E + 12	14		14	
Sr-90	1,9 E + 06	0,02	0,08 (RK)	0,01	0,04 (RK)
Cs-137	1,5 E + 07	0,7		0,53	
Pu-238	5,9 E + 04	<0,01	0,10 (KO)	<0,01	0,04 (KO)
Pu-239+Pu-240	2,3 E + 05	0,02	0,43 (KO)	0,01	0,18 (KO)
Pu-241	3,8 E + 07	0,08	1,40 (KO)	0,03	0,46 (KO)
Summe, gerundet:		15	-	15	-

(KO): Knochenoberfläche, (RK): Rotes Knochenmark

Tab. 5/11: Maximale Körper-Folge-Äquivalentdosen, berechnet aus den bilanzierten Aktivitätsableitungen mit dem Abwasser 1996

5.2.5.2 Berechnung der Strahlenexposition aus den gemessenen Aktivitätsgehalten im Trinkwasser und in Lebensmitteln

Die Äquivalentdosen werden als Produkte der durch Ingestion aufgenommenen Aktivitäten und den zugehörigen Dosisfaktoren ermittelt. Die Berechnung basiert auf den gemessenen Aktivitätsgehalten im Trinkwasser und in Lebensmitteln im Bereich des Rheinniederungskanal. Bei allen Messungen der Aktivität von Grund- und Trinkwasser wurde nur Tritium nachgewiesen. Da das aus dem Grundwasser gewonnene Trinkwasser auch zur Viehtränke und zur Beregnung verwendet wird, kann angenommen werden, daß landwirtschaftliche Produkte außer Tritium keine anderen künstlichen Radionuklide aus dem Abwasser des Forschungszentrums enthalten. Für pflanzliche Produkte ist die spezifische Tritiumaktivität aus Messungen bekannt. Für Fleisch wurde die spezifische Tritiumaktivität nach dem Modell der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift berechnet.

Für Trinkwasser wurde der Mittelwert der Tritiumkonzentrationen (196 Bq/l), der sich 1996 aus der vierteljährlichen Überwachung der Eigenwasserversorgungen von zwei landwirtschaftlichen Betrieben am Rußheimer Altrhein ergab, in die Rechnung eingesetzt.

Bei Messungen von Fisch aus dem Rheinniederungskanal wurden geringe Mengen von Cs-137 nachgewiesen. Für die Dosisberechnung wurde der Mittelwert von 0,45 Bq/kg eßbarer Substanz verwendet. Im Wasser des Vorfluters wurde Sr-90 in den Quartalsmischproben nachgewiesen (Variationsbereich 1,0 bis 2,7 mBq/l). Der Mittelwert von 1,7 mBq/l wurde für das Gewebewasser im Fischfleisch eingesetzt. Für Fischfleisch wurde 1996 ein Tritiumgehalt von 81 Bq/kg eßbarer Substanz ermittelt.

Zur Bestimmung des Tritiumgehaltes pflanzlicher Produkte wurde die spezifische Aktivität von Weizen, Kartoffeln und Kopfsalat gemessen. Die Meßwerte variierten zwischen 2,5 und 14 Bq/kg eßbarer Substanz. Für die Dosisberechnung wurde der Mittelwert von 6,9 Bq/kg verwendet.

Im Jahr 1996 wurde in den landwirtschaftlichen Betrieben am Rußheimer Altrhein Rindvieh ausschließlich zur Fleischgewinnung für den Eigenbedarf gehalten. Zur Berechnung des Tritiumgehaltes im Fleisch wurde der Mittelwert von 196 Bq/l der Trinkwasser-Eigenversorgungen verwendet, da dieses Wasser auch zur Viehtränke und zur Beregnung benutzt wird. Zur Berechnung des Beitrages durch Futtermittel wurde der Mittelwert der gemessenen spezifischen Tritiumaktivität von 2,1 Bq/kg herangezogen.

Der Jahresverbrauch der verschiedenen Lebensmittel entsprechend den Daten der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift und die resultierenden Effektivdosisbeiträge sind in Tab. 5/12 eingetragen. Als Summe der Dosisbeiträge ergibt sich eine effektive Folge-Äquivalentdosis für den Expositionspfad Abwasser von 3,5 μ Sv.

Lebensmittel	Jahresverbrauch Erwachsene	effektive Dosis μ Sv
Trinkwasser	800 l	2,5
Fisch	20 kg	0,2
Fleisch	150 kg	0,7
pflanzliche Produkte	500 kg	<0,1
Summe:		3,5

Tab. 5/12: Effektive Folge-Äquivalentdosis für Erwachsene für den Expositionspfad Abwasser im Jahr 1996, berechnet aus den ermittelten Aktivitätskonzentrationen in Trinkwasser und Lebensmitteln

5.2.6 Spektrometrische Messungen

Chr. Wilhelm, K.-G. Langguth, S. Rinn, Ch. Stickel, R. Maier

Im Bereich "Spektrometrie" der Gruppe werden für alle Gruppen der Abteilung Umweltschutz Messungen durchgeführt. Für gammaspektrometrische Messungen stehen drei "Hochenergie"-, vier "Niederenergie"- und vier "Gamma-X"-Detektoren zur Verfügung. Bei Bedarf werden auch die Detektoren des Bereiches Abwasserüberwachung eingesetzt. Zur Alphaspektrometrie werden acht Halbleiterdetektoren eingesetzt. Die Detektoren werden in einem Meß- und Auswertesystem betrieben, welches in Kap. 5.2.7 näher beschrieben ist.

Neben diesen Detektoren stehen für die Messung von Alpha- und Beta-Bruttoaktivitäten zwei Großflächen-Durchfluß-Zähler mit Probenwechsler und Pseudokoinzidenzelektronik zur Verfügung. Mit diesen Meßplätzen werden die Bilanzierungsmessungen an Aerosolfiltern zur Fortluftüberwachung durchgeführt.

Die Anzahl der Proben und der daran durchgeführten Messungen wurde in Tab. 5/8 aufgeführt. An den Aerosolfiltern zur Fortluftüberwachung werden stets zwei Messungen vorgenommen. Zunächst wird unmittelbar nach Anlieferung eine α - und β -Bruttoaktivitätsmessung durchgeführt, um erhöhte Aktivitätsabgaben rechtzeitig erkennen und Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Zur Bilanzierung der abgeleiteten Aktivität werden die Filter dann nach Abklingen der kurzlebigen natürlichen Aktivität erneut gemessen.

Zur γ -spektrometrischen Bilanzierung der mit der Fortluft und dem Abwasser abgeleiteten Aktivität sind Messungen sowohl im Nieder- als auch im Hochenergiebereich erforderlich, so daß - außer bei Verwendung der kombinierten Gamma-X-Detektoren - je Probe hier ebenfalls zwei Messungen erforderlich sind.

Besondere Erwähnung verdient der hohe Arbeitsaufwand für die Durchführung der verschiedenen Ringversuche. Trotz der geringen Zahl an Proben bei den Ringversuchen 'Abwasser', 'Abluft', 'Milchpulver' sowie 'Sediment' ist wegen der von den durchführenden Institutionen geforderten Mehrfachbestimmungen tatsächlich eine sehr große Zahl an Messungen auszuführen.

5.2.7 Das Mehrplatz-Spektrometriesystem auf Genie-PC-Basis

Chr. Wilhelm

In der Gruppe "Abwasserüberwachung und Spektrometrie" wird ein Mehrplatz-Spektrometriesystem auf Genie-PC-Basis betrieben. Wegen der großen Anzahl an Proben aus dem Freimeßlabor wurde 1996 ein weiterer Probenwechsler für 20 1-Liter-Probenflaschen in das System integriert. Das System enthält nunmehr 15 Germaniumdetektoren zur Gamma-Spektrometrie, acht Halbleiterdetektoren und zwei Gitterionisationskammern zur Alpha-Spektrometrie und zwei Probenwechsler. Zur Steuerung des Systems und zur Durchführung von Analysen stehen insgesamt sieben PC zur Verfügung. Von jedem PC aus kann jeder Detektor angesteuert und eine Analyse durchgeführt werden. Die Analysenprogramme zur Steuerung des Meßablaufes wurden hinsichtlich der Erfassung der probenspezifischen Informationen, wie Probenbeschreibung, Meßgeometrie und Probenmenge um eine Proben Datenbank erweitert. Somit ist es nun möglich, Probeninformationen unabhängig vom Start der Messung in das Analysensystem einzugeben und später diese Information direkt aus der Datenbank abzurufen. Des weiteren ermöglicht es diese Datenbank, einen besseren Überblick über jeweils im Labor befindliche Proben zu erhalten. Durch den hohen Grad an Automatisierung konnte eine wesentliche Steigerung der Analysenkapazität bei gleichzeitiger Verbesserung der Analysenqualität erreicht werden.

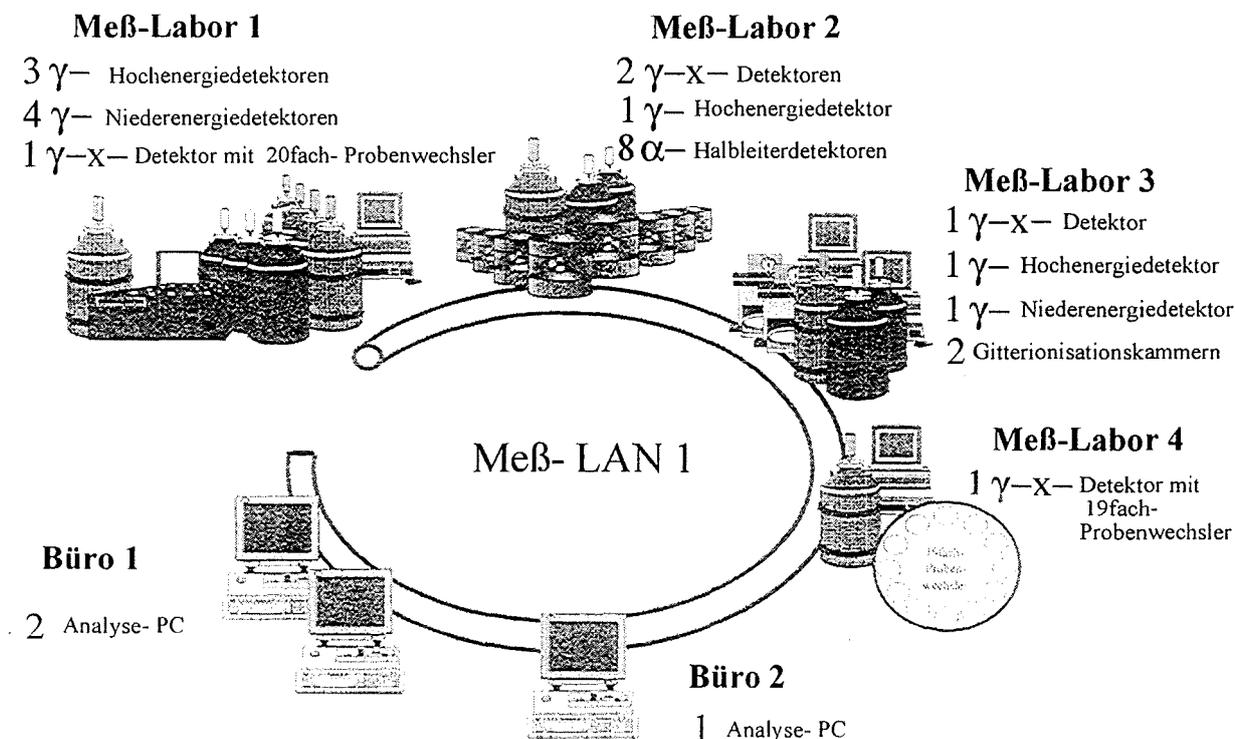


Abb. 5/8: Schematischer Aufbau des Spektrometriesystems

5.2.8 Optimierung der Geometrie von Marinelli-Bechern hinsichtlich minimaler Erkennungsgrenzen bei der Analyse von niederenergetischer Gammastrahlung in Wasserproben

O. Bronchales-Alegre, Chr. Wilhelm, K.-G. Langguth

Zur Messung von Gammastrahlung im Energiebereich unterhalb von 120 keV mit niedriger Erkennungsgrenze werden in der Radionuklidmeßtechnik spezielle Germanium-Detektoren eingesetzt. Sie unterscheiden sich von den Detektoren für den höherenergetischen Bereich in der Kristallgeometrie und -halterung, dem Detektoraufbau und insbesondere in der Endkappe, die mit einem dünnen Eintrittsfenster versehen ist. Für das Erreichen niedriger Erkennungsgrenzen hat sich außerdem die Messung des Probenmaterials in Marinelli-Geometrie bewährt. Bei vorgegebenem Detektor kann die Erkennungsgrenze durch geeignete Wahl der Höhe und des Durchmessers des Marinelli-Bechers noch weiter gesenkt werden.

Für eine derartige Optimierung wurden mehrere Lösungsansätze überprüft. Eine mathematische Lösung der Raumwinkelintegrale, unter Berücksichtigung der Wechselwirkung der Photonen mit dem Probenmaterial, wurde wegen der Komplexität des Problems verworfen. Das experimentelle Verfahren, Bestimmung der Erkennungsgrenzen in Abhängigkeit von der Probengeometrie, wurde wegen des notwendigen Einsatzes großer Mengen an Kalibriernukliden sowie dem großen Arbeitsaufwand ebenfalls verworfen. Als Lösungsweg wurde schließlich die Entwicklung eines Simulationsprogramms nach der Monte-Carlo-Methode gewählt.

In dem Simulationsprogramm wird der Weg von Photonen verfolgt, die statistisch gleichverteilt in dem Probenvolumen erzeugt werden und mit der Probe wechselwirken. Verläßt das Photon die Probe in Richtung des Detektors, so wird zusätzlich die Wechselwirkung des Photons mit den Materialien, die den Detektor umgeben, berücksichtigt. Als Ergebnis der Simulationsrechnung erhält man in Abhängigkeit von der Photonenenergie die Wahrscheinlichkeit $W(E)$, mit der Photonen aus der Probe in das Detektorvolumen eintreten. Wäre außerdem die Wahrscheinlichkeit für den Photoeffekt in dem gegebenen Germaniumkristall bekannt, könnte durch Multiplikation der beiden Wahrscheinlichkeiten der Wirkungsgrad des Detektors für Photonen der gegebenen Energie berechnet werden.

Die Wahrscheinlichkeit $W(E)$ ist aufgrund des speziellen Aufbaus der Detektoren für niederenergetische Gammastrahlung stark von den Abmessungen des Marinelli-Bechers abhängig: Seitlich einfallende Photonen werden in der Endkappe und in der Halterung des Kristalls wesentlich stärker geschwächt als Photonen, die von oben auf die Endkappe auftreffen und nur das dünne Eintrittsfenster zum Detektor durchdringen müssen.

Zur ersten Überprüfung des Programms wurde neben der Berechnung von Extremwerten auch ein Vergleich mit gemessenen Werten herangezogen. Dazu wurden für die einfache Geometrie einer 1-l-Weithals-Kautexflasche die Wirkungsgrade für verschiedene Probenvolumina gemessen und den berechneten Wahrscheinlichkeiten $W(E)$ gegenübergestellt.

In Abb. 5/9 sind diese Wertepaare für eine Photonenenergie von 46,5 keV grafisch aufgetragen. Zum besseren Vergleich sind die Werte $W(E)$ bei dem Probenvolumen von 1 000 ml auf den experimentell ermittelten Wirkungsgrad normiert. Es ist festzustellen, daß die Simulation bis zu geringen Probenvolumina eine sehr gute Übereinstimmung mit den gemessenen Werten aufweist. Die bei niedrigen Probenvolumina auftretenden Abweichungen sind zum Teil auf die nicht ganz korrekte Abbildung der Kautexflasche durch einen Zylinder in der Simulation zurückzuführen.

Nach Abschluß der Überprüfungen des Programms soll dann durch Variation der Abmessungen des Marinelli-Bechers die optimale Probengeometrie bestimmt werden, bei der die Erkennungsgrenzen für niederenergetische Gammastrahlung in Wasserproben

ein Minimum erreichen. Um auch verschiedene Bauweisen der Detektoren berücksichtigen zu können, ist vorgesehen, das Programm entsprechend zu erweitern.

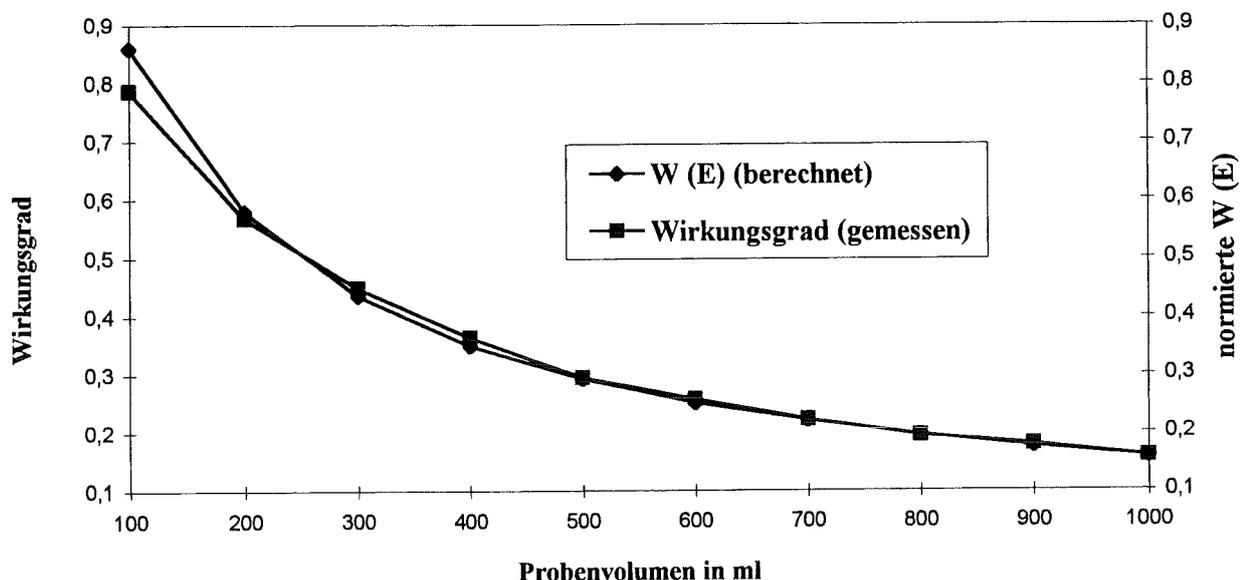


Abb. 5/9: Gemessene Wirkungsgrade und berechnete Wahrscheinlichkeiten $W(E)$, mit der Photonen in das Detektorvolumen eintreten in Abhängigkeit vom Probenvolumen.

$W(E)$ wurde auf den bei 1 000 ml gemessenen Wirkungsgrad normiert. Probengeometrie: 1-l-Weithals-Kautexflasche; Photonenenergie: 46,5 keV

5.3 Umgebungsüberwachung

M. Vilgis, A. Wicke

Die Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe wird gemäß § 48 StrlSchV nach einem vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg angeordneten Routine-meßprogramm überwacht. Das routinemäßig überwachte Gebiet umfaßt eine Fläche von ca. 200 km². Die meisten Meß- und Probenentnahmeorte liegen innerhalb eines Kreises von ca. 8 km Radius um das Forschungszentrum Karlsruhe (s. Lageplan Nr. 1). Im betriebliche Überwachungsbereich - das ist die ca. 2 km² große Fläche innerhalb des Zauns - ist das Meßstellennetz (s. Lageplan Nr. 2) wesentlich dichter als in der eigentlichen Umgebung.

Das auflagenbedingte Überwachungsprogramm umfaßt die Ermittlung der direkten Strahlenexposition sowie die Messung der Aktivität von Probenmaterialien aus verschiedenen Umweltmedien. Wenn sich im Rahmen der Routineüberwachung gegenüber bekannten Schwankungsbereichen signifikant erhöhte Meßwerte ergeben, werden ergänzende, zeitlich befristete Überwachungsmaßnahmen durchgeführt.

Monatliche Meßfahrten dienen dem Training des Einsatzpersonals bei Störfällen. Insgesamt werden dabei jährlich an ca. 900 Proben rund 1 800 Messungen durchgeführt.

Die sehr umfangreiche Zusammenstellung aller Einzelmeßergebnisse wird für jedes Quartal den Aufsichtsbehörden zugeleitet. Das Routineüberwachungsprogramm zur Überwachung der Umgebung hat folgende Struktur:

- 1 Direktmessung der Strahlung
 - 1.1 Außenstationen
 - 1.2 Monitoranlage zur Überwachung des Betriebsgeländes
 - 1.3 Festkörperdosimeter
- 2 Radioaktivitätsmessungen
 - 2.1 Luft
 - 2.2 Niederschlag
 - 2.3 Boden
 - 2.4 Bodenoberfläche
 - 2.5 Bewuchs
 - 2.6 Laub
 - 2.7 Pflanzliche Nahrungsmittel
 - 2.8 Oberflächenwasser
 - 2.9 Grund- und Trinkwasser
 - 2.10 Sediment
 - 2.11 Fisch
- 3 Meßfahrten (Störfalltrainingsprogramm)
 - 3.1 γ -Ortsdosisleistung
 - 3.2 Aerosole
 - 3.3 gasförmiges Iod
 - 3.4 Bodenoberfläche
 - 3.5 Boden

5.3.1 Ergebnisse der Routineüberwachung 1996

M. Vilgis, F. Milbich-Münzer, F. Werner, W. Bohn

5.3.1.1 Direktmessung der Strahlung

Zur Direktmessung der Strahlung befinden sich zwei On-line-Systeme im Einsatz. Das eine System, die sogenannte Monitoranlage, dient der Überwachung des betrieblichen Überwachungsbereichs, das andere System, die sogenannten Außenstationen, dient der Überwachung der umliegenden Ortschaften. 1996 wurde durch die Monitoranlage keine Überschreitung der Warnschwelle von 1 μ Sv/h registriert. Bei den Außenstationen wurden keine erhöhten Dosisleistungsmeßwerte registriert. In Abb. 5/9 sind die mittleren wöchentlichen Ortsdosisleistungen 1996 an den Außenstationen der Ortschaften Blankenloch, Friedrichstal und Leopoldshafen und an der Station "Forsthaus" dargestellt. Der Schwankungsbereich lag zwischen 70 und 100 nSv/h. Die Wochenwerte für die Ortschaften Eggenstein, Graben-Neudorf, Karlsruhe und Linkenheim, die lediglich aus darstellungstechnischen Gründen nicht in Abb. 5/10 aufgenommen wurden, lagen alle innerhalb dieses Schwankungsbereichs. Die geringen Unterschiede des Strahlungspegels werden im wesentlichen durch standortspezifische Parameter wie z. B. verschiedene Dachhöhen, Dachneigungen, Alter und Baumaterial der Dächer und Gebäude, aber auch durch die Nähe zu anderen Gebäuden bestimmt.

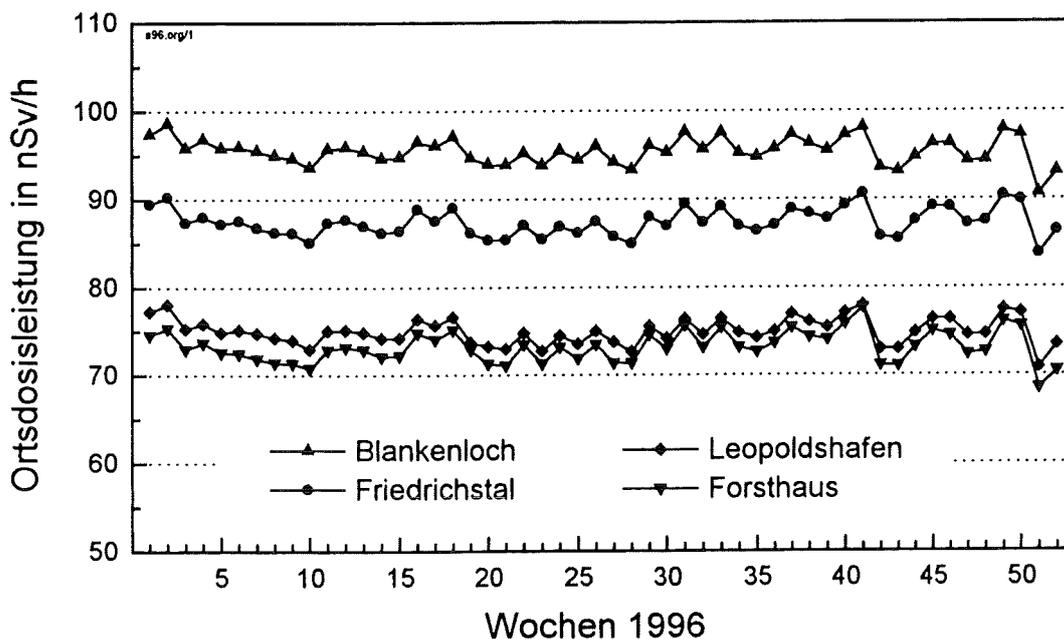


Abb. 5/10: Mittlere wöchentliche γ -Ortsdosisleistung 1996 in den nächstgelegenen Ortschaften und am "Forsthaus"

Die niedrigste Dosisleistung wird am "Forsthaus" (einzelnes Gebäude, von Wald umgeben) gemessen. Dies wird auch durch die Messung der Ortsdosis mittels Thermolumineszenzdosimetern bestätigt. Die Ortsdosisleistung an den 23 Meßorten entlang des Zauns des Betriebsgeländes lag im Bereich von 0,55 bis 0,66 mSv/a, bei einem Mittelwert von 0,61 mSv/a. Die Meßwerte der 32 Umgebungsdosimeter in den umliegenden Ortschaften reichten von 0,58 bis 0,80 mSv/a, bei einem Mittelwert von 0,66 mSv/a. Der größere Schwankungsbereich ist auf größere Unterschiede standortspezifischer Parameter zurückzuführen.

5.3.1.2 Radioaktivitätsmessungen

Zweimal wöchentlich werden die Aerosolfilter, die in den drei Meßhütten kontinuierlich bestaubt werden, gewechselt. Zusätzlich zur Messung der langlebigen α - und β -Gesamtaktivität aller Einzelfilter erfolgen vierteljährlich γ -spektrometrische Untersuchungen und Plutoniumanalysen der Filter. 1996 lagen alle durch γ -Spektrometrie bestimmten Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide unter oder nahe der Nachweisgrenze ($10 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ für Cs-137). Die Be-7-Aktivitätskonzentration schwankte zwischen $3,0$ und $4,6 \text{ mBq}/\text{m}^3$. Be-7 ist ein natürliches Radionuklid, das als Leitnuclid für den vertikalen atmosphärischen Austausch angesehen werden kann und dessen Aktivitätskonzentration je nach Jahreszeit schwankt. Im zweiten Quartal wurde bei der Meßhütte Nordost sowohl Pu-238 als auch Pu-239+240 in einer Konzentration von $0,4 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ in der Luft nachgewiesen. In allen übrigen Fällen lagen die Aktivitätskonzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze (vgl. Kap. 5.4.1).

Im Niederschlag wurden bei der γ -spektrometrischen Bestimmung keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen. In allen Proben lag die Aktivitätskonzentration unterhalb der Nachweisgrenze ($0,03 \text{ Bq}/\text{l}$ für Cs-137). Die Monatswerte der H-3-Aktivitätskonzentration schwankten zwischen der Nachweisgrenze ($2 \text{ Bq}/\text{l}$) und $43 \text{ Bq}/\text{l}$.

Tab. 5/13 enthält eine Übersicht über die Schwankungsbereiche der 1995 und 1996 gemessenen spezifischen Aktivitäten in Boden- und Sedimentproben. Aufgeführt sind außer dem natürlichen Radionuklid K-40 nur solche künstlichen Nuklide, für die in den Jahren 1995 und 1996 mindestens ein Meßergebnis über der Erkennungsgrenze lag.

überwachtes Medium	Nuklid	spezifische Aktivität in Bq/kg Trockensubstanz			
		1996		1995	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Boden (0 - 5cm)	K-40	440	540	440	470
	Cs-134	<0,48	0,35	<0,23	1,1
	Cs-137	11	43	8,8	43
	Sr-90	0,2	1,8	<0,09	1,2
	Pu-238	<0,01	0,06	<0,02	0,17
	Pu-239+240	0,16	0,98	0,07	0,66
Boden (In-situ-Gamma-Spektrometrie)	K-40	300	400	280	340
	Cs-134	<2,0	<2,3	0,75	<1,3
	Cs-137	11	20	9,7	17
Sediment (Rheinniederungskanal unterhalb Einleitung)	K-40	300	350	340	420
	Cs-134	<2,3	<4,8	<1,2	<2,1
	Cs-137	36	60	10	48
	Pu-238	0,12	0,67	0,11	0,45
	Pu-239+240	0,37	1,0	0,35	0,75
Sediment (Hirschkanal)	K-40	460	630	400	660
	Co-60	<2,8	2,6	<1,4	3,1
	Cs-134	<2,6	6,2	0,71	5,6
	Cs-137	120	390	47	320
	Am-241	<9,1	12	<2,1	11

Tab. 5/13: Schwankungsbereiche der spezifischen Aktivität im Boden und Sediment

Gegenüber dem Vorjahr wurde keine erhöhte spezifische Aktivität im Boden oder Sediment festgestellt. Die gemessenen Cs-134- und Cs-137-Aktivitäten beruhen zum größten Teil auf dem Fallout vom Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahr 1986. Die Sedimentproben werden im Rheinniederungskanal und Hirschkanal kontinuierlich in sogenannten Sedimentsammelkästen aufgefangen, die monatlich geleert werden.

Zur Bestimmung der spezifischen Aktivität im Boden wurden in den Hauptausbreitungssektoren der WAK (braun umrandete Sektoren in Lageplan Nr. 1) 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 Abluftkammine im Forschungszentrum (s. grün umrandete Sektoren in Lageplan Nr. 1) wurden von den Anbauflächen der überwachten Nahrungsmittel (Tab. 5/14) Bodenproben bis zu einer Tiefe von 20 cm entnommen. Die gemessene spezifische Aktivität dieser Proben lag im Schwankungsbereich der Meßwerte der Bodenproben bis 5 cm Tiefe (siehe Tab. 5/13). Außerdem wurde die spezifische Aktivität im Boden an vier Stellen auch durch In-situ-Gammaspektrometrie ermittelt.

Eine Übersicht über die Schwankungsbereiche der 1995 und 1996 gemessenen spezifischen Aktivitäten in Nahrungsmitteln gibt Tab. 5/14. Aufgeführt wurden nur solche künstlichen Nuklide, für die in den Jahren 1995 und 1996 mindestens ein Meßergebnis über der Erkennungsgrenze lag. Die landwirtschaftlichen Produkte wurden in den beiden

Hauptausbreitungssektoren angebaut. Der Fisch stammt aus dem Rheinniederungskanal in der Höhe von Linkenheim. Die Messung einer Fischprobe, die ausschließlich aus Aal bestand, ergab keine von anderen Fischarten signifikant verschiedenen Meßwerte. Die mittlere spezifische Cs-137-Aktivität von Fisch lag beim Wert des Vorjahres.

überwachtes Medium	Nuklid	spezifische Aktivität in Bq/kg Frischsubstanz			
		1996		1995	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Wurzelgemüse	K-40	34	90	38	120
	Cs-137	<0,03	<0,06	<0,018	0,027
	Sr-90	0,07	0,14	<0,016	<0,026
Getreide	K-40	91	110	95	140
	Cs-137	<0,08	<0,11	<0,038	0,052
	Sr-90	0,13	0,16	0,095	0,34
Blattgemüse	K-40	34	85	46	140
	Cs-137	<0,03	<0,06	<0,021	0,049
	Sr-90	0,13	0,24	0,17	0,18
Fisch	K-40	57	77	70	77
	Cs-137	0,36	0,54	0,43	0,45

Tab. 5/14: Schwankungsbereiche der spezifischen Aktivität in Nahrungsmitteln

Zur Überwachung des Grundwassers im Nahbereich der HDB werden zahlreiche Beobachtungspegel im Rahmen des Umgebungsüberwachungsprogrammes beprobt. Diese Pegel befinden sich innerhalb und außerhalb des Betriebsgeländes in Grundwasserfließrichtung. Die H-3-Konzentrationen schwankten 1996 zwischen der Nachweisgrenze (2 Bq/l) und 140 Bq/l. Die H-3-Aktivitätskonzentrationen des Grund- und Trinkwassers der Wasserwerke Tiefgestade, Linkenheim, Leopoldshafen, Hardtwald, des Forschungszentrums und der Beobachtungsbrunnen zwischen dem Forschungszentrum und Linkenheim lagen zwischen 2 und 10 Bq/l.

In Abb. 5/11 ist der Verlauf der Jahresmittelwerte der H-3-Aktivitätskonzentration des Trinkwassers aus den Wasserwerken Linkenheim, Tiefgestade und Karlsruhe-Hardtwald für die Jahre 1975 bis 1996 dargestellt. Die Einzelmeßwerte der H-3-Aktivitätskonzentration des Trinkwassers aus dem Wasserwerk Linkenheim schwankten in den letzten drei Jahren zwischen 5 und 10 Bq/l. Die Werte des Trinkwassers aus dem Wasserwerk Tiefgestade liegen nach einem kontinuierlichen Rückgang auf dem Niveau der Werte des Trinkwassers aus der Referenzstelle Karlsruhe-Hardtwald.

Im Grundwasser von den Standorten der Aussiedlerhöfe in der Nähe des Rheinniederungskanals bei Liedolsheim, Rußheim und Rheinsheim wird vierteljährlich die H-3-Aktivitätskonzentration bestimmt. Die H-3-Aktivitätskonzentrationen schwankten hier zwischen Nachweisgrenze und 230 Bq/l.

Die Kühl- und Regenwässer des Forschungszentrums werden über die Sandfänge 1 bis 6 in den Hirschkanal abgeleitet (Lageplan Nr. 2). Das Oberflächenwasser des Hirschkanals unterhalb von Sandfang 6 wird kontinuierlich beprobt. Die Wochenwerte der H-3-Aktivitätskonzentration mit einem Maximalwert von 25 Bq/l lagen im Jahresdurchschnitt unter der gemessenen H-3-Aktivitätskonzentration im Niederschlag.

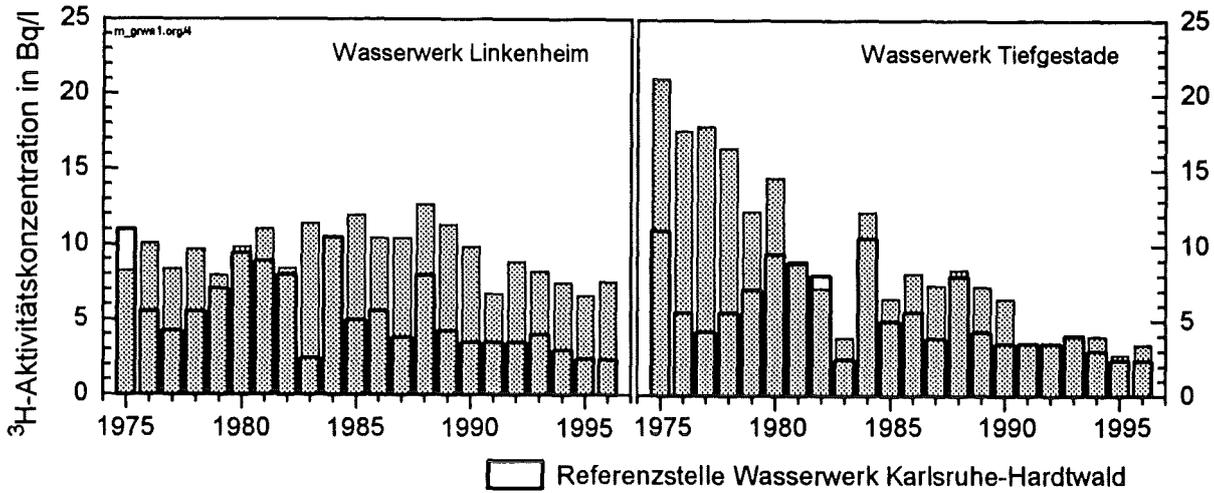


Abb. 5/11: Jahresmittelwerte der H-3-Aktivitätskonzentration des Trinkwassers aus dem Wasserwerk Linkenheim, Tiefgestade und Karlsruhe-Hardtald

Unterhalb der Einleitungsstelle für die Abwässer des Forschungszentrums werden Wasserproben aus dem Rheinniederungskanal kontinuierlich gesammelt. Die Wochenwerte der H-3-Aktivitätskonzentration schwankten 1996 zwischen 6 und 2 300 Bq/l. In Abb. 5/12 ist der zeitliche Verlauf der H-3-Aktivitätskonzentration im Rheinniederungskanal dargestellt. Die Jahresmittelwerte der H-3-Aktivitätskonzentration im Rheinniederungskanal sind seit 1985 rückläufig (Abb. 5/13). In 1996 lag der Jahresmittelwert mit 410 Bq/l bei ca. 10 % des Wertes von 1985.

Vierteljährlich werden außerdem vier Baggerseen und zwei kleinere Gewässer beprobt, die zum Teil eine direkte Verbindung zum Rheinniederungskanal haben. Ihre H-3-Aktivitätskonzentrationen schwankten 1996 zwischen 2 und 130 Bq/l.

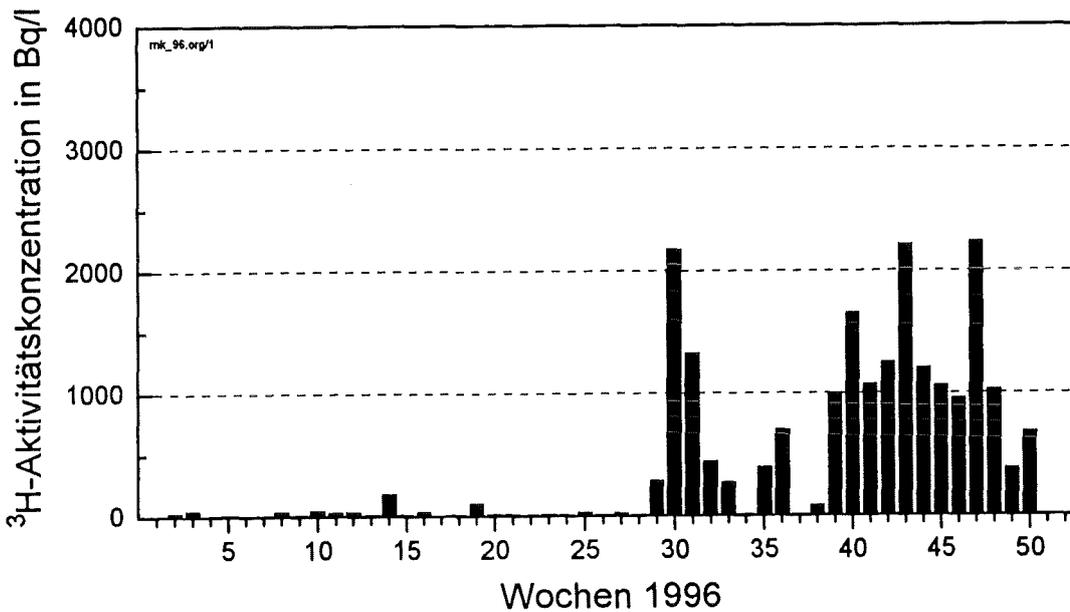


Abb. 5/12: Wochenwerte 1996 der H-3-Aktivitätskonzentration im Rheinniederungskanal

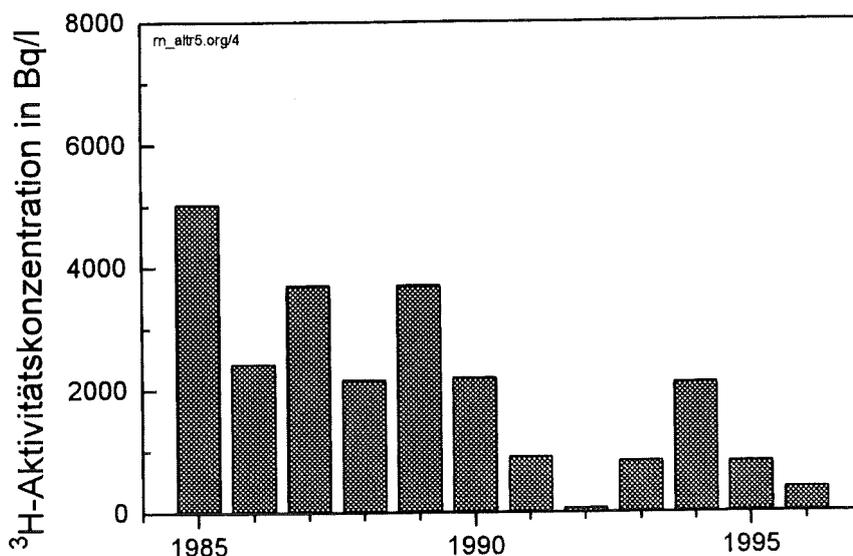


Abb. 5/13: Jahresmittelwerte der H-3-Aktivitätskonzentration Rheinniederungskanal

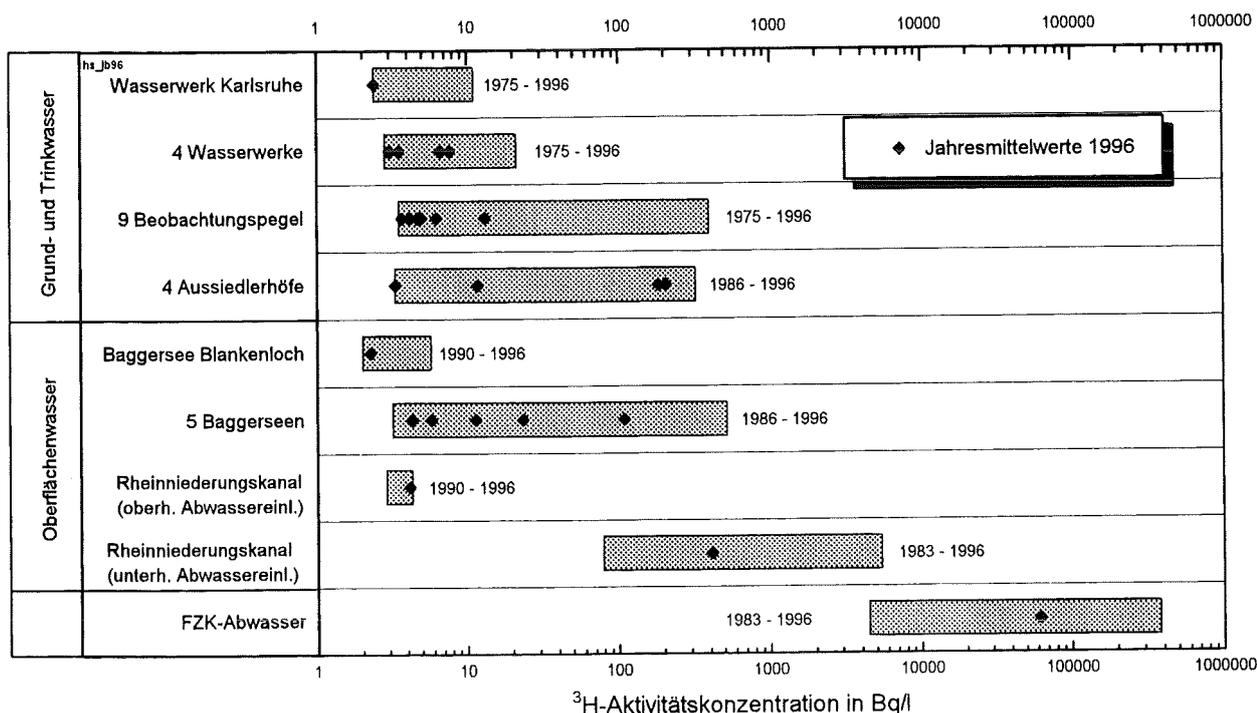


Abb. 5/14: Schwankungsbereiche der Jahresmittelwerte der H-3-Aktivitätskonzentration von Grund- und Trinkwasser, Oberflächenwasser und FZK-Abwasser

Meßergebnisse von Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser der letzten 20 Jahre, die im Rahmen der Routineumgebungsüberwachung gewonnen werden, wurden zusammengefaßt und ausgewertet. Für alle Wasserarten ist ein Rückgang der Werte festzustellen. Abb. 5/14 zeigt die Schwankungsbereiche der Jahresmittelwerte der H-3-Aktivitätskonzentration der Wasserarten von Probenentnahmestellen im Bereich des Rheinniederungskanals (siehe Lageplan Nr. 1). Zum Vergleich enthält die Grafik auch die Jahresmittelwerte der H-3-Aktivitätskonzentration des Abwassers aus dem Forschungszentrum. Da nicht alle Probenentnahmestellen für den gesamten Zeitraum von 20 Jahren Bestandteil des Umgebungsüberwachungsprogramms waren, ist jeweils der Zeitraum, für den die Werte dargestellt sind, angegeben.

5.3.1.3 Meßfahrten

Im Rahmen des Störfalltrainingsprogrammes werden monatliche Meßfahrten zu wechselnden Meß- und Probenahmeorten durchgeführt. Die in der Zentralzone (Abb. 5/15) anzufahrenden Stellen wurden gemäß dem "Besonderen Katastropheneinsatzplan für die Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe" festgelegt. Ziel dieser Meßfahrten ist das Training des Rufbereitschaftspersonals der HS-US. Alle Meßergebnisse entsprachen der Erwartung und zeigten keinerlei Auffälligkeiten.

5.3.1.4 Ergänzende Überwachungsmaßnahmen

Wenn sich im Rahmen der Routineüberwachung gegenüber bekannten Schwankungsbereichen signifikant erhöhte Radioaktivitätsmeßwerte ergeben, für die sich bei konservativer Betrachtung ein relevanter Bruchteil der Dosisgrenzwerte des § 45 StrlSchV abschätzen läßt, werden ergänzende, zeitlich befristete Überwachungsmaßnahmen durchgeführt, deren Umfang dem jeweiligen Anlaß angemessen ist. Ergänzende Überwachungsmaßnahmen sind z. B. eine Erhöhung der Probenentnahmefrequenz, eine Ausdehnung der Probenentnahmen auf andere Stellen als die im Routineprogramm festgelegten oder eine erweiterte Analytik.

Die H-3-Aktivitätskonzentration des Grundwasserpegels H0/1 (siehe Lageplan Nr. 2) zeigte nach einem Anstieg im Jahr 1996 wieder fallende Tendenz. Bei Jahresende lag der Wert mit 65 Bq/l bei der Hälfte des Maximalwertes vom vergangenen Jahr. Die Probenentnahmefrequenz wurde deshalb wieder auf eine Probe pro Quartal verringert.

Im Zuge des Rückbaus von Gebäudeteilen des FR2 wurden zur Beweissicherung Bodenproben im Nahbereich der abzureißenden Gebäude sowie nach der Entfernung der Bodenplatte entnommen. In den Proben, die in der unmittelbaren Umgebung der Gebäude entnommen wurden, lagen die Meßwerte für Co-60 und Cs-134 unter oder nahe der meßtechnischen Erkennungsgrenze. Das Radionuklid Cs-137 wurde in Konzentrationen nachgewiesen, die auch an der Referenzstelle der routinemäßigen Umgebungsüberwachung in Karlsruhe-Durlach gefunden werden. In Proben aus Boden unter der Bodenplatte wurde nur in einem Fall Cs-137 mit einem Meßwert nahe der meßtechnischen Erkennungsgrenze nachgewiesen.

Aufgrund des öffentlichen Interesses am Radioaktivitätsgehalt im Grundwasser in der Umgebung des Rheinniederungskanaals wurde eine Grundwasserprobe aus dem Bereich der Aussiedlerhöfe bei Rheinsheim mit besonders hoher Empfindlichkeit γ -spektrometrisch ausgewertet. Künstliche Radionuklide konnten nicht nachgewiesen werden.

5.3.2 Tritiumkonzentrationen in landwirtschaftlichen Produkten aus den Hauptausbreitungssektoren und aus dem Bereich des Vorfluters

K.-G. Langguth, H. Genzer, Chr. Wilhelm

Im Jahre 1996 wurden die Tritiumkonzentrationen in verschiedenen landwirtschaftlichen Produkten aus den beiden Hauptausbreitungssektoren und aus dem Bereich des Vorfluters bestimmt. Die Ergebnisse zeigt Tab. 5/15. Gemessen wurde die Tritiumkonzentration sowohl im Gewebewasser (HTO), das durch Gefriertrocknung extrahiert wurde, als auch das organisch gebundene Tritium (OBT) der organischen Trockensubstanz, das durch Verbrennung der wasserfreien Proben in einem Plasmaprozessor gewonnen wurde. Aus den gemessenen Tritiumgehalten und dem gemessenen Anteil des extrahierten Wassers an der Frischsubstanz wurde die Tritiumaktivität pro kg Frischsubstanz unter Annahme eines konstanten Gewichtsverhältnisses von Oxidationswasser zu Trockensubstanz von 0,56 berechnet.

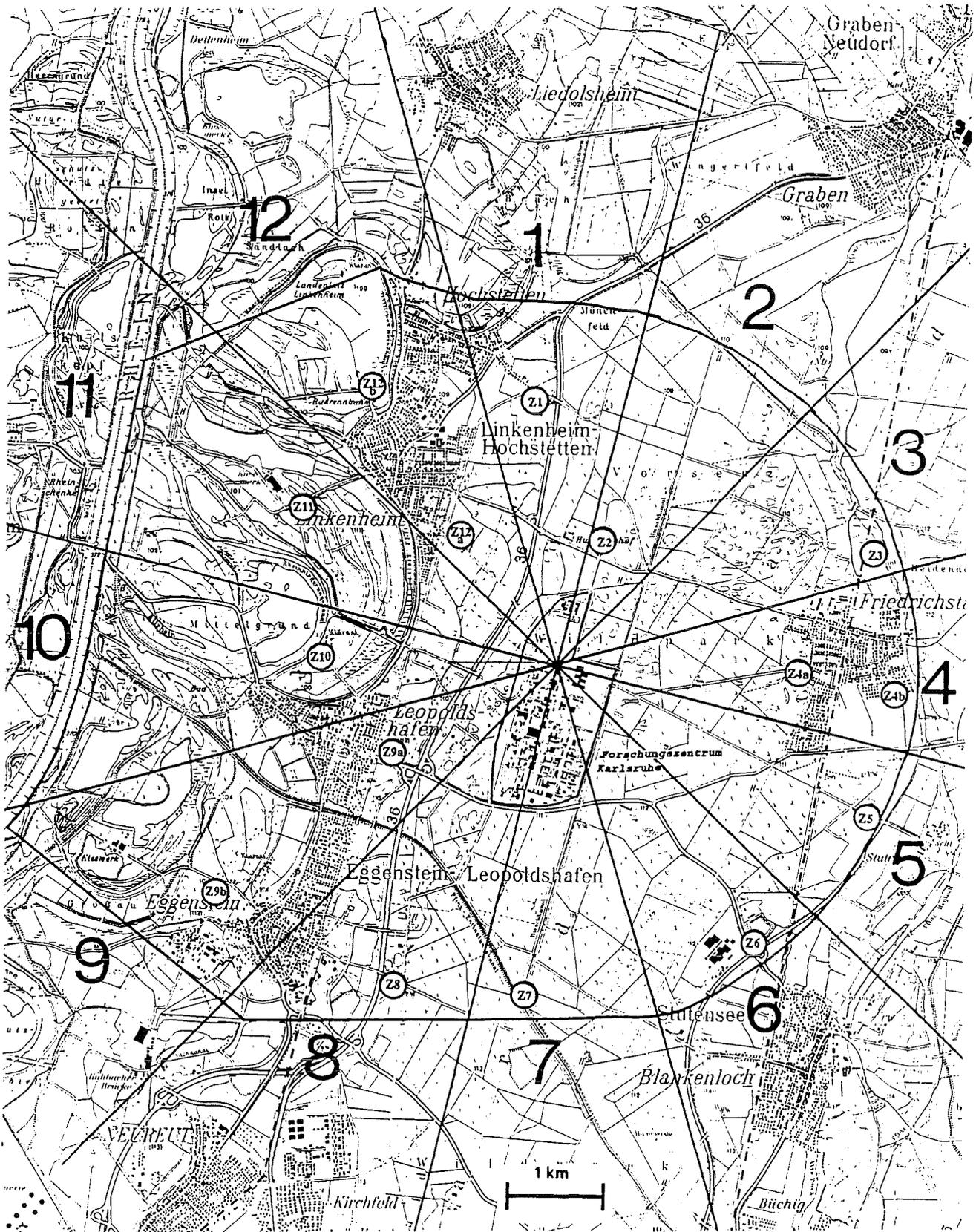


Abb. 5/15: Meß- und Probenentnahmeorte in den Sektoren der Zentralzone gemäß dem "Besonderen Katastropheneinsatzplan für das Forschungszentrum Karlsruhe"

Herkunft der Proben	Probenart	Probenahmedatum	Wassergehalt in %	Tritiumaktivität		
				in Bq/l		in Bq/kg FS*
				HTO	OBT	
Referenzstelle Augustenberg in Karlsruhe-Durlach	Bewuchs	08.05.96	83	2,8 ± 1,1	4,0 ± 1,2	2,7 ± 0,9
	Bewuchs	29.10.96	77	1,8 ± 1,0	3,3 ± 1,1	1,8 ± 0,3
Umgebung des Vorfluters (Rheinniederungskanal)	Bewuchs	09.05.96	82	2,4 ± 1,0	3,8 ± 1,1	2,4 ± 0,9
	Bewuchs	24.10.96	74	1,8 ± 1,0	2,5 ± 1,0	1,7 ± 0,8
	Fisch	12.11.96	70	17 ± 1,8	400 ± 14	81 ± 6,4
	Kartoffeln	14.08.96	77	2,8 ± 1,1	3,2 ± 1,1	2,5 ± 0,9
	Kopfsalat	26.06.96	91	15 ± 1,8	8,8 ± 1,5	14 ± 1,6
	Weizen	18.08.96	7,3	4,0 ± 1,1	7,6 ± 1,3	4,2 ± 0,5
1. Hauptausbreitungssektor (Raum Friedrichstal)	Roggen	03.08.96	5,9	4,7 ± 1,2	3,5 ± 1,2	2,1 ± 0,4
	Möhren	04.09.96	87	3,0 ± 1,1	6,1 ± 1,2	3,1 ± 1,0
	Feldsalat	11.10.96	91	2,4 ± 1,0	2,4 ± 1,0	2,3 ± 0,9
2. Hauptausbreitungssektor (Raum Eggenstein-Leopoldshafen)	Roggen	05.08.96	8,7	8,7 ± 1,4	7,0 ± 1,4	4,3 ± 0,5
	Möhren	04.09.96	86	3,7 ± 1,1	3,3 ± 1,0	3,5 ± 1,0
	Feldsalat	22.10.96	86	1,3 ± 0,9	2,9 ± 1,0	1,4 ± 0,9
Betriebsgelände, ca. 150 m östlich von HVT-TL, Bau 452	Laub	06.05.96	74	7,6 ± 1,4	12 ± 1,6	7,3 ± 1,1
	Laub	09.08.96	55	10 ± 1,5	18 ± 1,9	10 ± 1,1
	Laub	23.10.96	62	4,8 ± 1,2	16 ± 1,7	6,4 ± 1,1

*FS: Frischsubstanz

Tab. 5/15 Tritiumkonzentration in landwirtschaftlichen Produkten aus den beiden Hauptausbreitungssektoren, aus dem Bereich des Vorfluters und in Laub vom Betriebsgelände des Forschungszentrums Karlsruhe

Unter der Annahme, daß die gesamte Tritiumzufuhr eines Menschen über das Trinkwasser erfolgt, läßt sich aus dem in § 45 der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwert für die effektive Dosis von 0,3 mSv pro Jahr, dem Dosisfaktor für Tritium und dem ebenfalls in der StrlSchV für Dosisberechnungen festgelegten Jahresverbrauch von Trinkwasser für Erwachsene eine zulässige Tritiumkonzentration für Trinkwasser von rund 23 kBq/l berechnen. Im Vergleich dazu sind die 1996 gemessenen Tritiumkonzentrationen in landwirtschaftlichen Produkten sehr niedrig und somit unter dem Aspekt des Strahlenschutzes ohne Bedeutung.

5.4 Chemische Analytik

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. Darüberhinaus werden im Freimeßlabor radiochemische Analysen durchgeführt. Dieses Freimeßlabor wurde Anfang 1995 bei der Abteilung Umweltschutz in Kooperation mit der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe eingerichtet mit der Aufgabe, alle Aktivitätsmessungen und nuklidspezifischen Analysen durchzuführen, die im Rahmen der Freigabe radioaktiver Reststoffe aller Art erforderlich sind und vor Ort nicht durchgeführt werden können.

Für die Abluft-, Abwasser- und Umgebungsüberwachung des Forschungszentrums werden verschiedene Radionuklide im Low-level-Bereich mittels radiochemischer Analysen-

verfahren aus verschiedenen Probenmaterialien wie Aerosolfiltern, Pflanzen, Böden, Sedimenten, Fischen, Lebensmitteln und Wasser abgetrennt und nuklidspezifisch gemessen. Routinemäßig werden die Radionuklide Pu-238, Pu-239+240, Pu-241, Am-241, Cm-242, Cm-244, Sr-89, Sr-90, C-14, S-35 und K-40 erfaßt.

Im Freimeßlabor werden Bestimmungen von U-238, U-235, U-234, Pu-238, Pu-239+240, Pu-241, Am-241, Cm-242, Cm-244, Sr-89, 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 radiochemisch bestimmt werden.

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 Abteilung HS-US. Neben begleitenden Arbeiten zur Qualitätssicherung werden Entwicklungsarbeiten zur Verbesserung bestehender Verfahren und zur Einführung neuer Methoden geleistet.

Neben diesen Routineaufgaben werden nuklidspezifische Bestimmungen gegen Berechnung auch für externe Auftraggeber durchgeführt. Zur Überprüfung von Geräten und Methoden hat die Gruppe auch 1996 an verschiedenen Ringversuchen und Vergleichsmessungen teilgenommen, wobei durchweg sehr gute Ergebnisse erzielt werden konnten.

5.4.1 Radiochemische Arbeiten

M. Pimpl, U. Hoepfener-Kramar, K. Bender, H. Ewinger, D. Kerl, P. Perchio, B. Rolli, S. Vater

Im Berichtszeitraum wurde wöchentlich die Fortluft der Verbrennungsanlagen der HDB (Bau 536), der LAW-Eindampfanlage (Bau 545), der MAW-Eindampfanlage (Bau 555) und die Anlagen zur Gerätedekontamination und Verschrottung der HDB (Bau 548 Ost und West) auf C-14 überwacht. Aus den Verbrennungsanlagen wurden im gesamten Jahr 1996 nur 12,3 % der nach Abluftplan zulässigen C-14-Ableitungen von 1,5 TBq emittiert, aus den LAW- und MAW-Eindampfanlagen nur 0,02 % von 100 GBq und aus den Anlagen zur Gerätedekontamination und Verschrottung nur 2,9 % von 10 GBq. Im Auftrag der Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft wurde 1996 die Fortluft des MZFR auf C-14 überwacht. Nur 21,6 % der nach Abluftplan zulässigen C-14-Ableitungen von 10 GBq wurden abgegeben.

Zur Bilanzierung der 1996 mit dem Abwasser abgeleiteten radioaktiven Stoffe wurden Pu- und Sr-Isotope in Monatsmischproben aus den Endbecken radiochemisch bestimmt. In den gleichen Proben wurden außerdem C-14 und S-35 routinemäßig bestimmt, wobei für beide Radionuklide nur Werte unterhalb der Erkennungsgrenzen ermittelt wurden. Für C-14 lag die Erkennungsgrenze bei 0,9 Bq/l, für S-35 zwischen 3,0 und 3,6 Bq/l.

Die Überwachung der Plutoniumkonzentrationen der bodennahen Luft brachte ein mit 1996 vergleichbares Resultat. Die Ergebnisse der Plutoniumbestimmungen der an den Aerosolsammelstellen "Forsthaus", Meßhütte "Nordost" und Meßhütte "Südwest" je Quartal gesammelten Proben lagen mit einer Ausnahme unter den erreichten Erkennungsgrenzen, die zwischen 0,02 und 0,07 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ lagen. Lediglich an der Sammelstelle "Nordost" wurden im 2. Quartal 1996 Plutoniumwerte gemessen, die etwa um den Faktor 14 über der Erkennungsgrenze liegen, und zwar 0,4 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ sowohl für Pu-238 als auch für Pu-(239+240).

Zusätzlich wurden Auftragsarbeiten für kerntechnische Anlagen durchgeführt, die nach einer aufwandsbezogenen Gebährentabelle in Rechnung gestellt wurden. Im Jahr 1996 entfielen auf Auftragsarbeiten folgende Analysen: Wöchentliche C-14-Messungen in der Fortluft des MZFR, monatliche Sr-89/90-Analysen sowie vierteljährlich Alphabruttomessungen von Abwasserproben der Kernkraftwerke Obrigheim und Neckarwestheim.

Die im Laufe des Jahres 1996 insgesamt in der Gruppe "Chemische Analytik" durchgeführten Laborarbeiten sind in Tab. 5/16 aufgelistet. Abb. 5/16 vermittelt einen Überblick über den zeitlichen Aufwand für die 1996 angefallenen radiochemischen Arbeiten.

Tätigkeitsgebiet	Art der Analysen	Anzahl der Bestimmungen
Umgebungsüberwachung	Pu-238, Pu-(239+240)	37
	Sr-89, Sr-90	17
	K-40	330
Abwasserüberwachung	Pu-238, Pu-(239+240)	12
	Pu-241	12
	Sr-89, Sr-90	60
	C-14	12
	S-35	12
	α-Bruttomessungen	12
Fortluftüberwachung	C-14	312
Freimeßlabor	U-238, U-235, U-234	9
	Pu-238, Pu-(239+240)	22
	Pu-241	4
	Am-241, Cm-242, Cm-244	2
	Sr-89, Sr-90	17
	Fe-55, Ni-63	36
	C-14	21
	H-3	169
Kalibrierstandards	K-40, Th-229, U-232, Sr-90, Am-241, I-131, Ra-226	58
	LSC (Fe-55, Ni-63, H-3)	40
	AAS (Fe, Ni, Sr)	260
Kontroll- und Vergleichsanalysen	Sr	23
	Pu (α-Strahler)	15
	Pu-241	7
	Am, Cm	2
	U, Th	4
	C-14	4
	H-3	32
	Fe-55, Ni-63	6
	Blindelektrolysen	281
AAS	550	
Ringversuche	U, Pu, Sr	je 8
Entwicklungsarbeiten	Pu	25
	Am	25
	U, Th	25
	AAS (Fe, Ni, Sr, Y)	1 018
	Sr-90 (Extraktionsversuche)	660
Arbeiten von Gastwissenschaftlern	Pu	61
	Am, Cm	23
	U, Th	16
	Ra-226	69

Tab. 5/16: Arbeiten der Gruppe "Chemische Analytik" im Jahr 1996

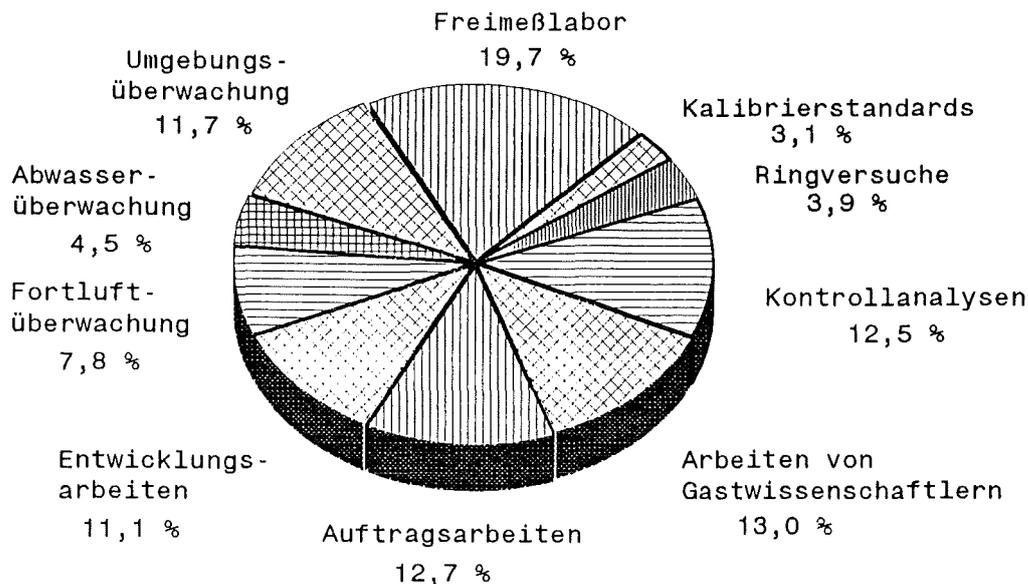


Abb. 5/16: Aufteilung der radiochemischen Arbeiten nach Zeitaufwand im Jahr 1996

5.4.2 Plutonium- und Strontiumableitungen mit dem Abwasser des Forschungszentrums Karlsruhe 1996

K. Bender, M. Pimpl

Zur Bilanzierung der mit dem Abwasser in den als Vorfluter dienenden Rheinniederungskanal abgeleiteten Aktivitäten an Sr-90, Pu-238, Pu-239+240 und Pu-241 werden die Konzentrationen dieser Nuklide in Monatsmischproben aus den Endbecken gemessen. Die Herstellung der Monatsmischproben erfolgt mengenproportional. Hierzu werden jeweils entsprechende Teilmengen der einzelnen, während eines Monats abgeleiteten Abwasserchargen entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. Die nuklidspezifischen Analysen erfolgen monatlich an Teilmengen der jeweiligen Monatsmischproben.

Radiostrontium wird als Sulfat aus der Probe abgetrennt. Nach radiochemischer Reinigung wird der Aufbau von Y-90 abgewartet, dieses als Oxalat abgetrennt und im Low-level- β -Meßplatz gemessen. Die Plutoniumisotope werden gemeinsam aus der Probe extrahiert, radiochemisch gereinigt und in einer Elektrolysezelle durch Elektrodeposition auf Edelstahlplättchen abgeschieden. Die α -Strahler Pu-238 und Pu-239+240 werden α -spektrometrisch bestimmt, der niederenergetische β -Strahler Pu-241 wird im Flüssigszintillationsspektrometer gemessen.

Die 1996 erfolgten monatlichen Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser des Forschungszentrums in den Vorfluter sind Tab. 5/17 zu entnehmen. Abb. 5/17 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Plutonium- und Strontiumableitungen in den Vorfluter seit Beginn der nuklidspezifischen Überwachung im zweiten Halbjahr 1973.

Monat	Emissionsraten in MBq/Monat			
	Pu-238	Pu-(239+240)	Pu-241	Sr-90
Januar	<0,018	<0,018	3,0	0,12
Februar	0,022	<0,022	2,2	<0,22
März	0,020	<0,020	2,9	0,10
April	<0,016	0,018	3,1	< 0,08
Mai	<0,021	<0,021	3,7	0,25
Juni	<0,019	<0,019	3,2	0,14
Juli	<0,021	<0,021	7,3	0,40
August	0,022	0,021	3,4	<0,10
September	<0,017	0,029	2,3	0,16
Oktober	0,037	0,11	7,5	0,21
November	<0,040	0,048	<0,9	0,29
Dezember	<0,028	<0,028	<0,6	0,22

Tab. 5/17: Emissionsraten mit dem Abwasser des Forschungszentrums 1996

Strontium- und Plutonium-
ableitungen in %

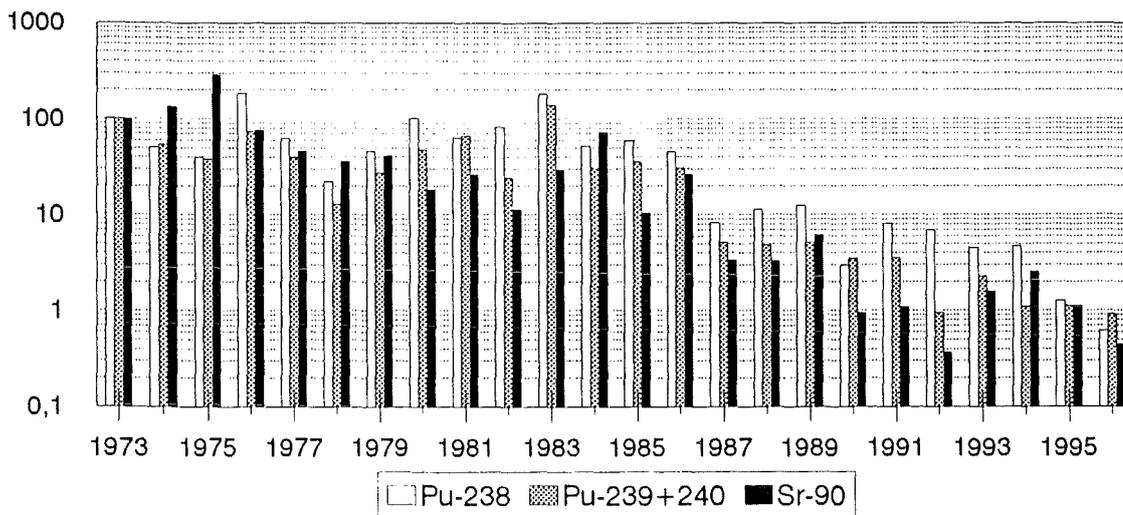


Abb. 5/17: Entwicklung der mit dem Abwasser aus dem Forschungszentrum abgeleiteten Aktivitäten an Pu-238, Pu-(239+240) und Sr-90 von 1973 bis 1996 (für Pu und Sr sind die Ableitungen von 1973 gleich 100 % gesetzt.)

5.5 Das Freimeßlabor

U. Hoepfener-Kramar, Chr. Wilhelm

Beim Abbau kerntechnischer Anlagen fallen radioaktive Reststoffe an. Diese sind nach §9a AtG vom Betreiber schadlos zu verwerten oder als radioaktive Abfälle geordnet zu entsorgen. Voraussetzung für eine Wiederverwertung ist die sogenannte Freigabe der entsprechenden Reststoffe. Freigabe bedeutet in diesem Zusammenhang die Entlassung der Reststoffe aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes. Dies geschieht durch die Bestimmung der Oberflächenaktivität und der massenspezifischen Aktivität des Probenwertes und einem anschließenden Vergleich mit behördlich vorgegebenen Grenz- oder Richtwerten. Für diesen Vorgang hat sich der Begriff der "Freimessung" eingebürgert. Abhängig vom Material, der Oberflächenbeschaffenheit und dem physikalischen Zustand der Probe müssen für die Aktivitätsbestimmung unterschiedliche Meßverfahren angewendet werden. Je nach Herkunft und Vorgeschichte des freizugebenden Materials genügt eine einfache Aktivitätsmessung vor Ort. In vielen Fällen ist jedoch eine nuklid-spezifische Aktivitätsbestimmung mittels Gamma-Spektrometrie erforderlich. In manchen Fällen kann auch zusätzlich eine nuklidspezifische Analyse nach Aufschluß von repräsentativen Proben und radiochemischer Abtrennung und Reinigung der interessierenden Radionuklide notwendig sein. Das in Zusammenarbeit mit der HDB seit Januar 1995 betriebene Freimeßlabor der HS-US übernimmt in diesem Anforderungskatalog alle Aktivitätsbestimmungen, die nicht vor Ort erfolgen können. Die physikalischen Direktverfahren werden in der Gruppe "Abwasserüberwachung und Spektrometrie" der HS-US, chemische Arbeiten und Bestimmungen in der Gruppe "Chemische Analytik" der HS-US durchgeführt.

Im Freimeßlabor wurden 1996 überwiegend interne Aufträge bearbeitet. Der Rückbau der kerntechnischen Anlagen FR2, HDR und MZFR war durch Freigabemessungen analytisch zu begleiten. Seit November 1996 wird die Kapazität des radiochemischen Labors und ein großer Anteil der Kapazität des Spektrometrie-Labors durch die Analyse von Chemie-Klärschlamm des Forschungszentrums gebunden. 1996 erhielt das Forschungszentrum die Genehmigung, die seit 1984 angefallenen Klärschlamm der Chemiekläranlage zu trocknen und als gewöhnlichen Abfall zu entsorgen, wenn ihre nuklid-spezifischen Aktivitäten vorgegebene Richtwerte unterschreiten. Das Freimeßlabor hat in diesem Rahmen die Aufgabe, die Homogenität der getrockneten Schlamm in Bezug auf die spezifische Aktivität charakteristischer Nuklide zu überprüfen und die nuklidspezifischen Bestimmungen zur Vorbereitung der Freigabe durchzuführen. Diese Arbeiten werden nicht vor dem Sommer 1997 abgeschlossen sein.

5.5.1 Physikalische Direktmeßverfahren

Chr. Wilhelm, S. Rinn, Ch. Stickel, R. Maier, H. Genzer

Unter den physikalischen Direktmeßverfahren sind solche radiometrische Meßverfahren zu verstehen, die keiner chemischen Probenvorbereitung bedürfen. Sie werden in der Gruppe "Abwasserüberwachung und Spektrometrie" durchgeführt. Die im Freimeßlabor angewandten Verfahren sind: Gammaskpektrometrie (50 bis 2 000 keV), niederenergetische Gammaskpektrometrie (10 bis 150 keV), Flüssigszintillationsspektrometrie bei Tritium in wäßrigen Lösungen sowie bei Tritium oder C-14 auf Wischtestproben und Alpha-Beta-Gesamtaktivitätsmessungen.

Für die gammaskpektrometrischen Analysen wurde 1996 ein weiterer Probenwechsler im Spektrometriesystem (siehe Kap. 5.2.7) in Betrieb genommen. Insgesamt wurden 821 Schnellanalysen (100 Minuten Meßzeit) und 784 Low-Level-Analysen (1 000 Minuten Meßzeit) durchgeführt.

Zur Bestimmung von Tritium und C-14 im Flüssigszintillationszähler wurden 160 Analysen an Flüssigkeiten und 432 Analysen an Wischtests durchgeführt. Bei den Messungen der flüssigen Proben wird auf Kalibrierungen zurückgegriffen, wie sie auch für die Abwasserüberwachung benutzt werden, während für die Messungen von Wischtestproben spezielle Kalibrierungen erforderlich waren. Für die Bestimmung der Gesamtalpha- und Gesamtbeta-Aktivität werden Großflächenproportionaldurchflußzählrohre eingesetzt. Eine Kalibrierung für Feststoffe und Flüssigkeiten ist im Bereich Abwasserüberwachung bereits vorhanden. Mit diesem Verfahren wurden 36 Proben untersucht.

5.5.2 Entwicklung von Korrekturverfahren für die Analyse von niederenergetischen Gammastrahlern in Bauschutt- und Metallproben

D. Schöppner, Chr. Wilhelm, K.-G. Langguth

Beim Rückbau kerntechnischer Anlagen fallen neben anderen Materialien vor allem große Mengen an Metallen und Bauschutt an. Bei der gammaspektrometrischen Messung solcher, in Ordnungszahl und Dichte von den wäßrigen Kalibrierproben stark unterschiedlichen Materialien, treten bei der Analyse Probleme mit der Bestimmung des korrekten Wirkungsgrades auf. Das unterschiedlich starke Absorptionsvermögen der Materialien, vor allem bei niederenergetischer Gammastrahlung (< 150 keV), führt zu verschiedenen hohen Selbstabsorptionsverlusten und so zu einem stark unterschiedlichen Wirkungsgrad bei gleicher Probengeometrie.

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden deshalb Verfahren zur Korrektur des Wirkungsgrades von wäßrigen Proben für die Messung von Bauschutt- und Stahlproben entwickelt. Dabei stellte die komplexe Abhängigkeit des Wirkungsgrades von den Faktoren Detektorausführung, Ordnungszahl und Dichte des Probenmaterials, Probengeometrie und Energie der Photonenstrahlung die größte Schwierigkeit dar. Da aufgrund der Komplexität eine rein mathematische Lösung des Problems nicht möglich war, wurden meßtechnisch anhand von Kalibrierproben Korrekturfaktoren ermittelt, die das Verhältnis des Wirkungsgrades für wäßrige Standardproben zum Wirkungsgrad für die hergestellten Feststoffkalibrierproben wiedergeben. Dabei wurden für die beiden Materialien Beton und Metall zwei leicht unterschiedliche Verfahren angewandt.

Bei den Metallproben (Edelstahlspäne) wurden die Korrekturfaktoren unter Variation der genannten Einflußfaktoren, die den Wirkungsgrad bestimmen, ermittelt. Aus den gemessenen Werten wurden, speziell für jeden Detektor und jede Probengeometrie, Flächenregressionsfunktionen für den Korrekturfaktor als Funktion von Materialdichte und Photonenenergie berechnet. Abb. 5/18 zeigt als Beispiel die graphische Darstellung der Flächenregressionsfunktion, ermittelt an einem planaren n-type-Germanium-Detektor.

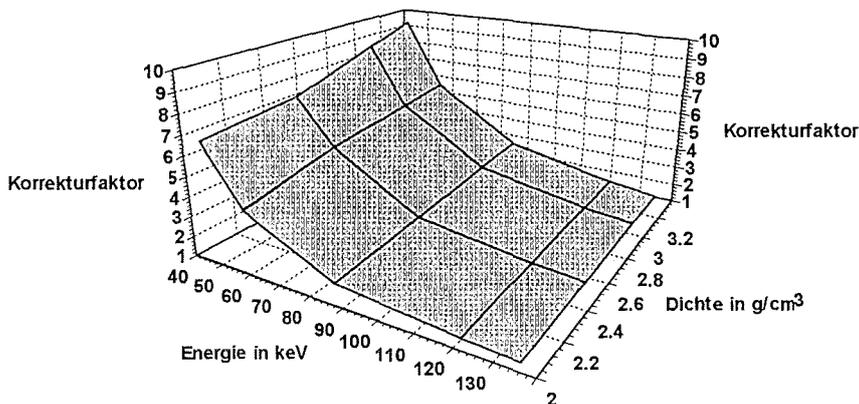


Abb. 5/18: Flächenregressionsfunktion für eine Geometrie von 50 ml Stahlspänen in 100-ml-Weithalskautextflasche für einen planaren n-type-Ge-Detektor

Anhand solcher Funktionen kann für verschiedene Packungsdichten des Probenmaterials für alle Photonenenergien zwischen 46 und 136 keV eine Korrektur der Selbstabsorptionsverluste vorgenommen werden. Man erhält den korrigierten Wirkungsgrad durch Division des Wirkungsgrades für Wasser durch den Korrekturfaktor.

Bei den Betonproben wurde auf die Variation der Dichte verzichtet, da die in der Praxis zu messenden Betonproben nur geringe Dichteunterschiede aufweisen. Zudem stellte sich heraus, daß für Beton, aufgrund der im Vergleich zu Wasser nur geringfügig größeren Absorptionsverluste, die detektorspezifische Aufnahme der Korrekturfaktoren nicht notwendig ist. So wurden, exemplarisch für einen Detektor, die Korrekturfaktoren bei verschiedenen Energien im Bereich < 150 keV gemessen und durch eine Regressionskurve angepaßt.

Möglichkeiten, die experimentell ermittelten Korrekturfaktoren in unserem Gammaskopiersystem zum automatischen Abruf zur Verfügung zu stellen, konnten im Rahmen der Diplomarbeit bereits aufgezeigt werden. Die vollständige programmtechnische Ausführung und die weitere Ausarbeitung der Korrekturverfahren sind Aufgaben, die in der Zukunft noch angegangen werden müssen.

5.5.3 Chemische Arbeiten und Bestimmungen

U. Hoepfener-Kramar, B. Rolli, H.-P. Ewinger, M. Pimpl

Bei den zu analysierenden Proben handelte es sich überwiegend um Betonstaub und Bauschutt, Klärschlamm und Erde, sowie unterschiedliche Stähle. Daneben waren aber auch Proben aus verschiedenen Kunststoffen und Verbundmaterialien, wie beispielsweise Asphalt, sowie unklassifizierte Stäube zu bearbeiten. Bei letzteren Materialien mußte die Probenvorbereitung individuell angepaßt und kontrolliert werden, um eine radiochemische Analyse mit den bestehenden Routineverfahren durchführen zu können.

1996 wurden 22 Proben auf Plutonium, neun Proben auf Uran und zwei Proben auf Americium und Curium analysiert. In 17 Proben wurde der Sr-89/90-Gehalt ermittelt und in vier Proben die Pu-241-Aktivitätskonzentration. Außerdem wurden 18 Eisen/Nickel-Trennungen durchgeführt sowie zehn Feststoffproben auf C-14, 137 auf H-3 als HTO und zehn organische Lösungen auf H-3 untersucht. Außerdem hat das Freimeßlabor an zwei Ringversuchen teilgenommen. Die Anzahl der im Einzelnen durchgeführten Bestimmungen sind in Tab. 5/16 in Kapitel 5.4.1 enthalten.

Zusätzlich zu diesen routinemäßigen Analysenaufgaben wurden einzelne der im letzten Jahr im Freimeßlabor verwendeten Verfahren weiter optimiert.

- Das Aufschlußverfahren für Stähle wurde so variiert, daß es relativ unabhängig von der Korngröße der eingesetzten Späne ist.
- Die Zeiten und Temperaturen für die einzelnen Schritte der Veraschung von Klärschlamm wurden so variiert, daß eine nahezu pulverförmige Asche entsteht, die gut weiterverarbeitet werden kann.
- Der Eisen/Nickel-Trennungsgang wurde für die Bearbeitung größerer Probenvolumina oder höherer Eisengehalte der Probenlösung weiterentwickelt. Dadurch konnte auch die Nachweisgrenze gesenkt werden. In der Analyse wurde die Phasentrennung bei der Nickelextraktion durch Zusatz von Lösungsvermittlern verbessert. Damit erhält man eine sauberere Nickellösung, und Störungen bei der nachfolgenden Flüssigszintillationsmessung werden vermieden.
- Für die C-14-Bestimmung wurde die Probenvorbereitung standardisiert. Die Proben werden jetzt bei 60 °C getrocknet und gemörsert. Die homogene Probe zersetzt

sich gleichmäßiger, wodurch Mitreißeffekte in die Gasphase bei sehr heftigem Reaktionsverlauf vermieden werden. Insgesamt konnte die Reproduzierbarkeit der Bestimmung verbessert werden. Bei der Analyse wurden die Verhältnisse der zugesetzten Chemikalien so variiert, daß jetzt bei allen zu analysierenden Materialien (außer Stahl) dieselbe Menge Trockensubstanz (20 g) eingesetzt werden kann. Damit wird eine weitere Standardisierung des Verfahrens erreicht, wobei die erzielten Nachweisgrenzen für alle Materialien ungefähr gleich sind.

Die Bestimmung von Pu-241 mittels Flüssigszintillationsmessung und die radiochemische Analyse von Americium und Curium wurden neu in den Katalog des Freimeßlabors aufgenommen. Damit stehen jetzt Verfahren für die routinemäßige Bestimmung der folgenden Radionuklide zur Verfügung: Pu-238, Pu-(239+240), Pu-241, U-234, U-235, U-238, Cm-242, Cm-244, Am-241, Sr-89, Sr-90, Fe-55, Ni-63, H-3 und C-14.

Bei der Bestimmung von Radiostrontium wird der Probe inaktives Strontium als Träger zur Ermittlung der chemischen Ausbeute im Milligramm-Bereich zugesetzt. Die Ausbeutebestimmung wird jedoch dann verfälscht, wenn das Probenmaterial selbst schon inaktives Strontium enthielt. Es ist deshalb erforderlich, den Strontiumgehalt der Probe vor der radiochemischen Analyse zu bestimmen, d. h. vor dem Zusetzen von inaktivem Strontiumträger. Im Freimeßlabor erfolgt diese Strontium-Bestimmung durch Messung mittels Graphitrohr-AAS. Das verwendete Verfahren wurde weiter optimiert, und die Meßparameter wurden charakterisiert (Kapitel 5.5.4). AAS-Messungen wurden auch zur Ermittlung der chemischen Ausbeuten bei der radiochemischen Analyse von Eisen und Nickel herangezogen.

5.5.4 Zur Bestimmung von Strontium und Yttrium mit Hilfe der Graphitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie

H.-P. Ewinger, U. Hoepfener-Kramar, M. Pimpl

Ziel dieser Untersuchung war es, das bestehende Meßverfahren für Strontium mit Graphitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie (Graphitrohr-AAS) zu optimieren und zu klären, ob hohe Konzentrationen an Calcium die Bestimmung von Strontium stören. Relativ hohe Konzentrationen an Calcium enthalten z. B. Klärschlämme durch die Behandlung der Abwässer mit gelöschtem Kalk.

Die Bestimmung von Strontium mit Graphitrohr-AAS erfolgt bei einer Wellenlänge von 460,7 nm. Calcium wird bei 422,7 nm bestimmt. Die Wellenlängenunterschiede der Hauptabsorptionslinien und auch die in der Literatur angegebenen Nebenlinien lassen keine Überlagerungen erwarten. Die Empfindlichkeiten für die Messung von Ca und Sr liegen im gleichen Bereich. Als Maß für die Empfindlichkeit der Messung eines Elementes mit AAS dient die sogenannte charakteristische Masse. Die charakteristische Masse ist diejenige Stoffmenge des zu bestimmenden Elements, welche ein Meßsignal definierter Größe erzeugt. Je kleiner die charakteristische Masse ist, desto größer ist die Empfindlichkeit mit der ein Element mit AAS gemessen werden kann (charakteristische Masse: Ca 1 pg und Sr 4 pg). Um Vergleichswerte zu erhalten, wurden einzelne Proben mittels optischer Emissionsspektrometrie, angeregt durch induktiv gekoppeltes Plasma (ICP/OES), bei einer Wellenlänge von 317,933 nm für Ca und von 407,771 nm für Sr gemessen. Da Strontium ein natürliches Begleitelement von Calcium ist, ist in realen Proben mit hohen Calcium-Gehalten auch ein relativ hoher Gehalt an Strontium zu erwarten. Aus der Literatur sind für Bodenproben Ca/Sr-Verhältnisse von 55 bis 1 550 bekannt. In mehreren Versuchsreihen mit Proben unterschiedlicher Konzentration von Strontium (1 bis 20 µg/l) und unterschiedlichen Calcium-Gehalten (1 bis 100 mg/l) wurden insgesamt 933 Einzelmessungen mit jeweils drei Wiederholungsmessungen durchgeführt. Als Ca-Standard wurde eine Lösung von 1 g/l verwendet, deren Sr-Konzentration zu 6,9 µg/l bestimmt wurde. Lösungen mit einem hohen Calcium-Gehalt, d. h. bis zu 0,1 g/l, können mit Graphitrohr-AAS noch unverdünnt gemessen werden. Bei den

gemessenen Proben mit Ca/Sr-Verhältnissen von 50 bis 100 000 konnte im Rahmen der Schwankungsbreite bei verschiedenen, voneinander unabhängigen Messungen keine Querempfindlichkeit festgestellt werden. Aus der statistischen Auswertung der Reihenuntersuchungen wurden für den Routinebetrieb wichtige Vergleichsdaten über zu erwartende Blindwerte, Kalibriergeraden und relative Standardabweichungen erhalten.

Zusätzlich zur Messung von Strontium wurde versucht, Yttrium mit Graphitrohr-AAS zu messen. Dazu wurde zunächst eine geeignete Meßroutine erstellt. Nach jeder Messung bleiben aber, selbst nach mehrmaligem Ausheizen des Graphitrohres bei einer maximal möglichen Ausheiztemperatur von 2 600 °C, wechselnde Mengen an Yttrium im Graphitrohr zurück und beeinflussen so die darauf folgende Messung. Wegen dieses hohen Memoryeffektes kann der Einsatz von Graphitrohr-AAS für die Bestimmung von Y im Routinebetrieb nicht empfohlen werden. Zusätzlich besteht das Problem, daß reale Proben mit Konzentrationen von Yttrium im Bereich von 1 mg/l wegen der geringen Empfindlichkeit (charakteristische Masse: Y 4 000 pg) nur unverdünnt gemessen werden können. Die Messung unverdünnter Probelösungen ist aber nur möglich, wenn die Lösung eine geringe Salzfracht enthält. Da reale Proben üblicherweise eine hohe Salzfracht aufweisen, ist eine direkte Messung entweder nicht möglich, oder es muß mit erheblichen, nicht korrigierbaren Matrixeffekten gerechnet werden.

5.6 Verhalten von Tritium im System Luft-Pflanze-Boden

S. Strack, S. Diabaté

Die Aufnahme von Tritium in ernährungsrelevante Pflanzen wird im Rahmen der Sicherheitsbetrachtungen für die zukünftige Fusionstechnologie am Beispiel von Weizen (*Triticum aestivum* L.) untersucht. Ziel der Arbeiten ist eine mathematische Beschreibung der Tritiumaufnahme ins Gewebewasser (TWT = tissue water tritium), des Einbaus in die organische Substanz (OBT = organically bound tritium) und der Kinetik der Tritiumkonzentrationen bis zur Ernte, um die resultierende Ingestionsdosis mit hinreichender Genauigkeit voraussagen zu können. In Labor- und Freilandexperimenten werden Weizenpflanzen für kurze Zeit mit tritiiertem Wasserdampf in der Atmosphäre exponiert. Zur Abschätzung der OBT-Konzentrationen in den Körnern zur Ernte nach einer hypothetischen Tritiumfreisetzung in die Atmosphäre wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik ein mathematisches Modell entwickelt: "Plant-OBT". Als Eingabeparameter werden lediglich allgemein verfügbare Daten benötigt, wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Globalstrahlung.

5.6.1 Modellentwicklung

Für die weitere Entwicklung des Modells "Plant-OBT" wurde es, wie vorgesehen, zur Auswertung der ab 1995 durchgeführten Feldexperimente eingesetzt. Bei den im Freiland durchgeführten Expositionen wurden die Pflanzen jeweils nur für eine Stunde mit Hilfe einer transparenten Box exponiert, wobei die atmosphärische HTO-Konzentration innerhalb der Box zunächst steil ansteigt und im Verlauf der Exposition wieder abfällt. Dies machte eine Änderung des Berechnungstaktes notwendig, denn der bisher für die Berechnung verwendete 1-Stunden-Takt erwies sich als zu grob für die Vorhersage der TWT-Konzentrationen am Ende der Exposition. Eine Ertüchtigung des Modells für diesen Zweck konnte dadurch erreicht werden, daß es während der Expositionszeit in 10-Minuten-Schritten arbeitet. Auf diese Weise kann das Modell bei der Berechnung der TWT-Konzentrationen die zeitlichen Änderungen der atmosphärischen HTO-Konzentration besser berücksichtigen. Diese ausgeprägte Dynamik bei den Feldversuchen simuliert eine störfallmäßige Freisetzung wesentlich besser, als dies bei den Laborversuchen erreicht werden konnte, weil die versuchsbedingte Spülung der Box im Labor nur eine relativ langsame Reduktion der HTO-Konzentrationen zuläßt.

Die Arbeiten im Rahmen von Phase II der internationalen BIOMOVs-Studie (Biospheric Model Validation Study) innerhalb der Arbeitsgruppe "Spezielle Radionuklide - Tritium" wurden im Berichtsjahr mit der Publikation von zwei Berichten abgeschlossen. Darin sind die wichtigsten Ergebnisse eines umfassenden Vergleichs von acht Modellen, u. a. UFOTRI und Plant-OBT, zur Abschätzung des Verhaltens von Tritium in Boden, Pflanzen, Milch und Fleisch in Folge einer atmosphärischen Kurzzeit-Exposition durch HTO in zwei Schritten beschrieben. Im ersten Schritt wurden die Arbeitsweisen der Modelle mit Hilfe eines "fiktiven" Szenarios bei zahlenmäßig fest vorgegebenen Parametern untereinander verglichen. Unterschieden wurde jeweils zwischen einer Freisetzung am Tage und in der Nacht. Überwiegend resultierten daraus Vorhersagen, die zumindest innerhalb der gleichen Größenordnung lagen. Anhand von einzelnen größeren Abweichungen konnten eine Reihe von Prozessen identifiziert werden, die einer weiteren Analyse bedürfen, um die Modellierung insgesamt zu verbessern. Dazu zählen die Deposition von HTO auf bewachsenen Böden und die anschließende Reemission, die Deposition auf Pflanzen zur Nachtzeit, die Wurzelaufnahme in Abhängigkeit von der Bodentiefe, die nächtliche OBT-Bildung, die Translokation von OBT zu den Speicherorganen in Abhängigkeit vom jahreszeitlichen Wachstum der Pflanzen sowie die Bildung und Ausscheidung von OBT bei Tieren.

Im zweiten Bericht wurden die Ergebnisse zusammengefaßt, die bei der Prüfung der Modelle anhand von tatsächlichen Meßdaten herauskamen. Hierbei wird die Güte der Modelle durch Vergleich der Vorhersagen mit den Ergebnissen von "echten" Szenarios geprüft, in denen Beschreibungen von tatsächlichen Freisetzungen in die Umwelt vorgegeben werden, ohne die gemessenen Konzentrationen vorher bekannt zu geben. Nach Abschluß der Berechnungen werden in diesem Fall die Resultate mit den Meßdaten verglichen. Für diesen zweiten Schritt hatten einerseits kanadische Radioökologen Meßdaten zur Verfügung gestellt, die in der Umgebung einer mit Tritium kontaminierten Deponie gewonnen wurden. Andererseits konnten aus der Serie von Weizenexperimenten, die im Forschungszentrum Karlsruhe durchgeführt wurden, zwei Versuche - ein Tag- und ein Nachtexperiment - als Szenarien eingebracht werden. Hier sollte die resultierende OBT-Konzentration in den Weizenkörnern zur Erntezeit berechnet werden, nachdem die Pflanzen mit den heranwachsenden Ähren im Juni für zwei Stunden durch HTO exponiert wurden.

Die Ergebnisse des Modellvergleichs anhand dieses "Weizen-Szenarios" sind in den Abbildungen 5/19 und 5/20 dargestellt. Die Abweichungen der von den Modellen vorhergesagten Tritiumkonzentrationen C_{mod} von den tatsächlich in den Experimenten beobachteten Konzentrationen C_{mess} sind hier als Verhältniszahlen dargestellt, und zwar als Verhältnis $C_{\text{mod}}/C_{\text{mess}}$, wenn der Modellwert größer war als der gemessene. Für den umgekehrten Fall, $C_{\text{mess}} > C_{\text{mod}}$, wird das Verhältnis $C_{\text{mess}}/C_{\text{mod}}$ verwendet. Auf diese Weise lassen sich sowohl Überschätzungen als auch Unterschätzungen der beobachteten Werte durch die Vorhersagen der Modelle als Abweichungen vom Idealfall der Übereinstimmung mit dem Verhältnis 1 darstellen.

Bei der Kurzzeit-Exposition der Weizenpflanzen am Tage wurde die OBT-Speicherung in den Körnern überwiegend mit Abweichungen um Faktoren zwischen 1 und 3 abgeschätzt. Berücksichtigt man dabei allerdings, daß die Vorhersage der OBT-Konzentration in den Körnern von der Berechnung der anfänglichen TWT-Konzentration abhängt, dann läßt sich erkennen, daß sich die Abweichungen der Vorhersagen beider Konzentrationen z. T. gegenseitig kompensieren. Ohne eine solche Kompensation würden die Abweichungen der OBT-Konzentrationen in mehreren Fällen den Wert drei überschreiten.

Die Vorhersagen der Modelle, die die HTO-Aufnahme und die OBT-Bildung der Pflanzen in der Nacht nicht einschließen, wichen bei der Berechnung der OBT-Konzentrationen in den Weizenkörnern zur Erntezeit erheblich von den Meßwerten ab. Daran wird die Bedeutung dieser Prozesse, die in den Modellen des FZK zufriedenstellend berücksichtigt werden, für die Modellierung deutlich.

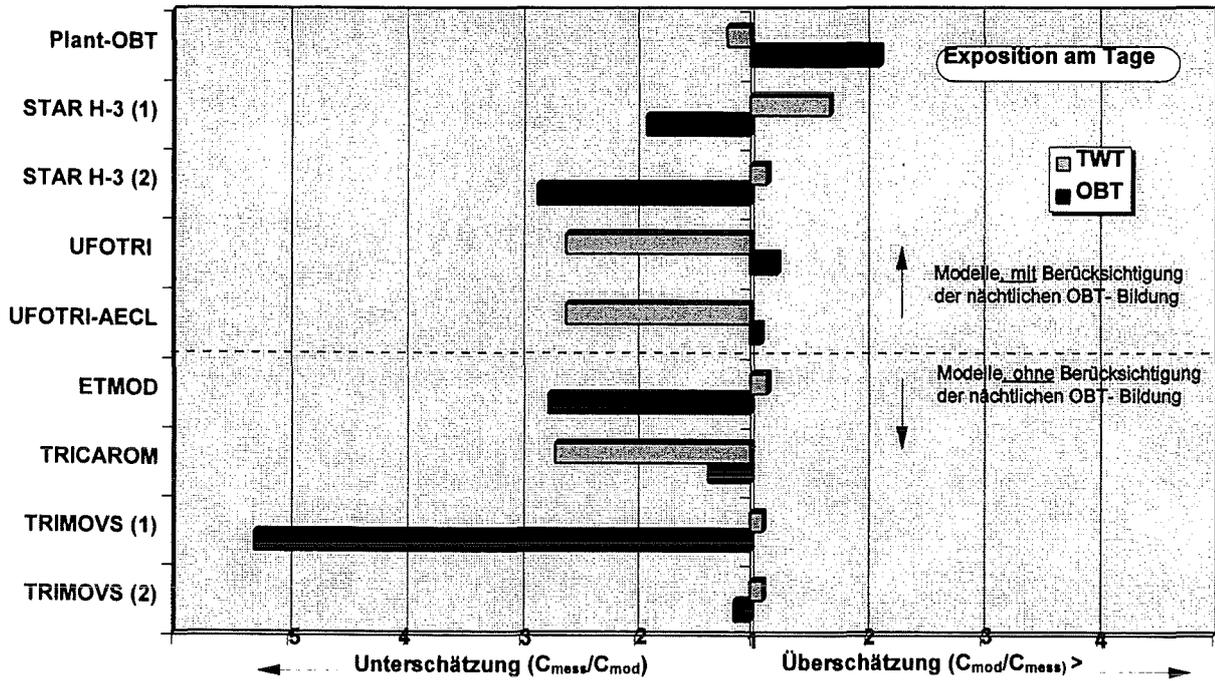


Abb. 5/19: Abweichungen der Vorhersagen verschiedener Modelle für die TWT-Konzentration in den Blättern und für die OBT-Konzentration in den Weizenkörnern zum Zeitpunkt der Ernte nach einer zweistündigen Exposition mit HTO am Tage

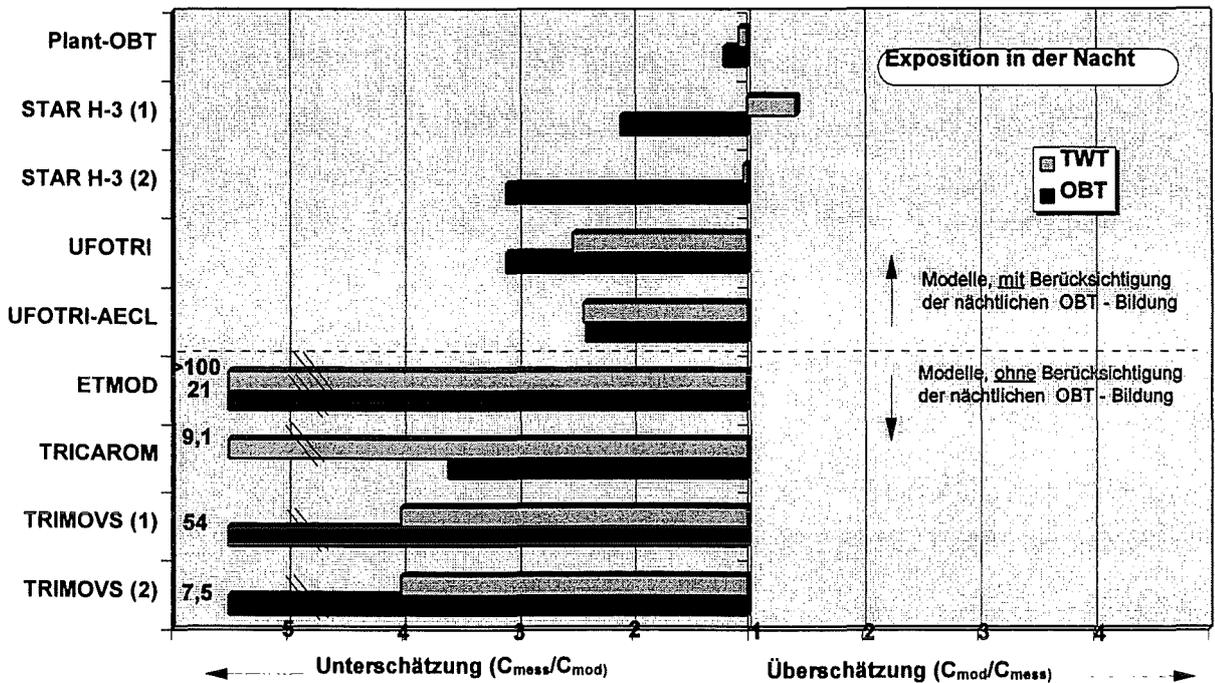


Abb. 5/20: Abweichungen der Vorhersagen verschiedener Modelle für die TWT-Konzentration in den Blättern und für die OBT-Konzentration in den Weizenkörnern zum Zeitpunkt der Ernte nach einer zweistündigen Exposition mit HTO in der Nacht

Aus dem Modellvergleich mit dem "Weizen-Szenario" lassen sich zusammenfassend folgende Schlußfolgerungen ziehen:

- Bei der Modellierung der HTO-Aufnahme und der OBT-Bildung in Blättern während der Nacht sind noch Verbesserungen möglich.
- Die Qualität der Vorhersage der anfänglichen TWT-Konzentration in den Blättern ist entscheidend für die Güte der Vorhersage der OBT-Konzentration in den Körnern zum Zeitpunkt der Ernte.
- Die Berücksichtigung des Entwicklungsstandes der Pflanzen zur Zeit der Exposition (Verlauf der Kornfüllungsperiode) ist von grundlegender Bedeutung für eine akzeptable Vorhersage der OBT-Gehalte in den Körnern.
- Bei einer Freisetzung am Tage kommen auch einfachere Modelle mit konstanten Transferraten zu akzeptablen Vorhersagen. Prozeßorientierte Modelle zeigen vor allem deutliche Stärken bei der Beschreibung des Verhaltens von Tritium nach einer Freisetzung in der Nacht.

5.6.2 Experimente

Bei den Freilandexperimenten 1995 und 1996 wurde in einer Box gasförmiges HTO durch langsames Verdampfen von 2 ml flüssigem HTO erzeugt und mit Hilfe eines Ventilators verteilt. Nach einer Stunde wurde die Box entfernt und mit der Probenentnahme begonnen. Die oberste Schicht der beaufschlagten Bodenfläche (2 bis 3 cm) wurde entfernt, um den Einfluß der Reemission von HTO aus dem Boden und die Aufnahme von HTO über die Wurzeln zu reduzieren. Die Experimente wurden zwischen Beginn der Blüte (Anfang Juni) und Einsetzen der Seneszenz (Anfang Juli) durchgeführt, weil der Hauptteil der Assimilate für das Kornwachstum in dieser Zeit produziert und eingelagert wird. Um den Einfluß meteorologischer Bedingungen zu untersuchen, erfolgten die Expositionen zu verschiedenen Tageszeiten. Geerntet wurde in der dritten Juliwoche.

Da die HTO-Konzentrationen in der Atmosphäre in jedem Versuch variierten, wurde als Bezugswert die mittlere HTO-Konzentration in der Luftfeuchte über den Zeitraum der Exposition in der Box gewählt. Es wurden deutliche Unterschiede bei der Aufnahme von HTO ins Gewebewasser unter verschiedenen Lichtbedingungen beobachtet (Tab. 5/18). Dies hängt mit dem Öffnungsgrad der Stomata zusammen, der von der Lichteinstrahlung zum Zeitpunkt der Exposition und von der Wasserversorgung bestimmt wird. Am deutlichsten ist dies bei den Blättern zu beobachten. Bei Nacht wird zwar deutlich weniger HTO als am Tage aufgenommen, aber die relative TWT-Konzentration von 20 % in den Blättern im Vergleich zu maximal 100 % am Tage weist darauf hin, daß die Stomata auch bei Nacht nicht vollständig geschlossen sind. Bei Stengeln und Ähren war die relative TWT-Konzentration niedriger als in Blättern, jedoch muß berücksichtigt werden, daß beide Organe einen höheren Wasseranteil im Vergleich zur Oberfläche aufweisen. Am Ende der Exposition befinden sich ca. 50 % des TWT der gesamten Pflanze in den Blättern, 20 % in den Stengeln und 30 % in den Ähren.

Auch nach der Exposition spielt der Öffnungsgrad der Stomata eine Rolle. In der ersten Stunde nach der Exposition sinkt das TWT in der Pflanze am schnellsten, wenn die Exposition am Tage stattgefunden hat und zwar auf 20 bis 30 % des Anfangswertes. Am langsamsten sinkt das Gesamt-TWT, wenn die Exposition am Abend oder in der Nacht stattgefunden hat, nur auf ca. 90 % des Anfangswertes. 24 Stunden nach der Exposition ist das Gesamt-TWT bei allen Versuchen, unabhängig von der Uhrzeit der Exposition, auf ca. 2 % des Anfangswertes gesunken, wobei sich etwa 90 % des verbliebenen TWT in der Ähre befinden. Im Verlaufe von einer Woche sinkt das Gesamt-TWT auf unter 0,5 % des Anfangswertes und zur Ernte sind nur noch Spuren an TWT nachweisbar.

Relative TWT-Konzentration in %					
Expositionszeit \ Pflanzenteile	Sonnen- aufgang	Vor- mittag	Nach- mittag	Sonnen- untergang	Nacht
Stengel	50 - 70	50 - 100	60 - 90	20 - 30	20
Ähre	10	10 - 20	10 - 20	< 10	< 10
Blätter	10	10 - 20	10 - 20	< 10	< 10

Tab. 5/18: Relative TWT-Konzentration in Pflanzenteilen von Weizen, eine Stunde nach Beginn der Exposition

Die OBT-Bildung zeigt ebenso eine Abhängigkeit vom Licht. Um sie zu quantifizieren, wurde die jeweilige OBT-Konzentration (in Bq/ml Verbrennungswasser) auf die TWT-Konzentration der Blätter am Ende der Exposition bezogen. Unmittelbar nach der Exposition läßt sich in den Blättern eine relative OBT-Konzentration von ca. 1,5 % bei Tageslicht und 0,4 % bei Nacht beobachten. Der weitere Verlauf der OBT-Konzentration hängt vom Abfall der Tritiumkonzentration im Gewebewasser ab, d. h. vom Öffnungsgrad der Stomata, sowie vom Abtransport von OBT in andere Pflanzenteile. Bis zur Ernte geht die OBT-Konzentration ungefähr um den Faktor 100 zurück.

In den Körnern stieg die OBT-Konzentration im Verlauf eines Tages zunächst allmählich an. Danach sank die Konzentration wieder, weil neues organisches Material eingelagert wurde. Zur Erntezeit lag die relative OBT-Konzentration deutlich unter 1 % der TWT-Konzentration der Blätter am Ende der Exposition. Die höchsten Werte wurden beobachtet, wenn die Exposition in die Kornfüllungsperiode fiel. Berechnet man aus den gemessenen OBT-Konzentrationen und den Durchschnittsgewichten der Pflanzenteile ein Gesamt-OBT der Pflanzen, dann wird deutlich, daß einmal eingebautes OBT in der Pflanze verbleibt und sich bis zur Ernte nicht mehr signifikant verändert (Abb. 5/21). Es findet eine Umverteilung zu den Körnern statt, die bei der Ernte mehr als 90 % des gesamten OBT enthalten. Wegen der biologischen Variabilität der Pflanzen ist bei der Abschätzung des Gesamt-OBT ein Fehler von 10 bis 20 % zu berücksichtigen.

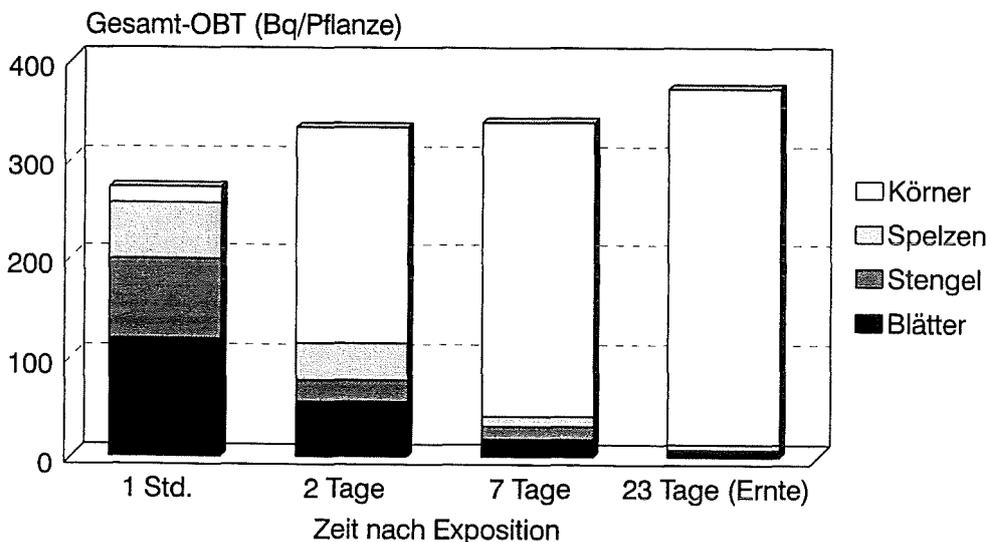


Abb. 5/21: Verteilung des Gesamt-OBT in Winterweizen nach Exposition mit HTO in der Atmosphäre (Exposition am 28.6.1995, 8 bis 9 Uhr, ca. 6 kBq/m³ Luft. Mittlere Trockengewichte von Blättern, Stengel und Ähre einer Pflanze von 0,3, 1,0 und 1,2 g).

5.7 Radon-/Radonfolgeprodukt-Messungen in baden-württembergischen Wasserwerken

J. Schmitz, R. M. Nickels

Neben den Arbeitsplätzen untertage und in der balneotherapeutischen Radonanwendung sind auch die Arbeitsplätze in der Trinkwassergewinnung möglicherweise durch natürliche Radonexposition über den Luftpfad belastet. In den neuen Bundesländern wurden mit Anfang der 70er Jahre Wassergewinnungsbetriebe in den uranhöflichen Bereichen des Erzgebirges untersucht und aus bayerischen Granitgebieten sind einige zum Teil spektakulär hohe Radonkonzentrationen in Arbeitsbereichen bekannt geworden.

Die Hauptabteilung Sicherheit des Forschungszentrum Karlsruhe untersucht deshalb seit Ende 1994 auf Anregung und mit finanzieller Förderung durch das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg systematisch Betriebsbereiche von Wasserwerken auf eine mögliche Radonbelastung. Dabei werden von den ca. 240 Wasserversorgungsunternehmen des Landes diejenigen ausgewählt (ca. 80), die bei einem Jahresumsatz von mehr als 1 Mio m³ in der Regel einen festen Mitarbeiterstab für die Wassergewinnung beschäftigen. Bis Ende 1996 wurden mehr als 70 Wasserwerke mit über 800 Betriebspunkten aufgesucht und die Radon- und Radonfolgeproduktkonzentration in der Luft unter Betriebsbedingungen bestimmt.

Für die Messungen werden die gleichen Geräte eingesetzt, wie bei den Erhebungsmessungen untertage und in den Thermalbädern: Zwei Instant-Working Level Meter (MDA 811 und MEAP III), die auf eine Erfassungsgrenze von 0,02 WL optimiert wurden. Neben passiven Radondosimetern wird für die γ -Dosis ein Vierkanal-Szintillometer eingesetzt. Feuchte und Temperatur werden mit leichten Handgeräten bestimmt. Für die bei höher exponierten Arbeitsbereichen vorgesehenen Detailmessungen stehen noch die auch in den vergangenen Erhebungen eingesetzten kontinuierlichen Monitoren Atmos und Alpha-Guard (Radon) und die Scintrex-Folgeproduktmonitoren WLM30/RG30 zur Verfügung.

Es wurden folgende Ergebnisse erzielt:

Bis Ende 1996 wurden in 70 Wasserversorgungsunternehmen Erhebungsmessungen in den regelmäßig begangenen Betriebsbereichen durchgeführt, wobei im Mittel etwa zwölf Betriebspunkte pro Wasserwerk ausgemessen wurden. Etwa 50 % aller Folgeproduktkonzentrationswerte an über 800 Betriebspunkten lagen unterhalb 0,1 WL (370 Bq m⁻³) und damit unterhalb der aus der Empfehlung der Strahlenschutzkommission für "Radon in Häusern" abgeleiteten Obergrenze des Normalbereiches für Arbeitsplätze mit 2 000 Arbeitsstunden pro Jahr. Um die Arbeitsplätze bei höheren Konzentrationen (Ermessensbereich) beurteilen zu können, wurden durch Befragung der Wassermeister und Einsichtnahme in Arbeitsbücher die tatsächliche Arbeitszeiten in Rohrkellern, Behältern, Pumpwerken und Aufbereitung erfragt und zugeordnet. Die Routineinspektionen variieren zwischen einmal pro Werktag bis einmal pro Monat und die Behälterreinigung, normalerweise jährlich, erstreckt sich auf zwei bis drei Tage je Behälter. Im Mittel (70 erfaßte Wasserwerke) ergeben sich für den einzelnen Beschäftigten zwischen 150 und maximal 200 Arbeitsstunden im eigentlichen Wasserbereich. Aufgrund dieser Abschätzung kann man von einer Regelarbeitszeit in geschlossenen Wasserbereichen von zunächst 170 h/Jahr = 1 Month ausgehen. Ausnahmen, z. B. Beschäftigung in großen Aufbereitungsanlagen, wurden als Einzelfall berücksichtigt. Aufgrund dieser Überlegung erweitert sich der Normalbereich für Arbeitsplätze in Wasserwerken auf 1 WL (3 700 Bq m⁻³ Radon-Folgeprodukte), und die Jahresexposition bleibt unter der Obergrenze von 1 WLM. Für Baden-Württemberg ergibt sich damit, daß noch 15 % aller Betriebspunkte über diesem Grenzwert liegen; die höchsten Werte erreichten 17 und 20 WL bzw. über 200 000 Bq m⁻³ Radon (s. Abb. 5/22). Der Medianwert beträgt 0,4 WL.

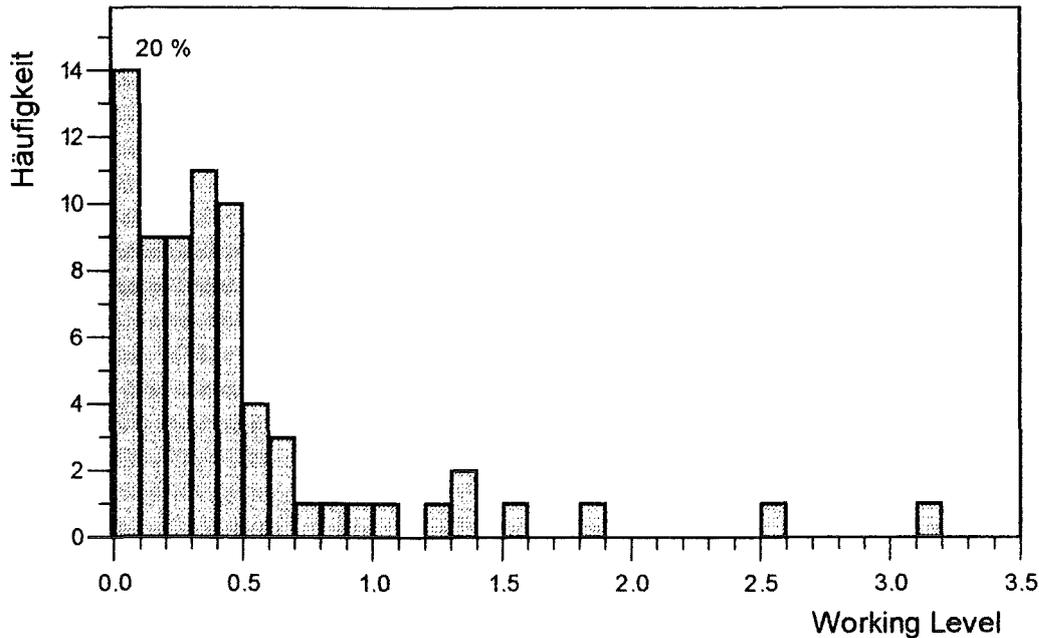


Abb. 5/22: Radon-Folgeproduktkonzentration in 70 Wasserwerken aus Baden-Württemberg; Mittelwerte aus den zugehörigen 888 Betriebspunkten

Für die höher exponierten Betriebspunkte wird eine detaillierte Einzelbetrachtungen und daraus folgende technische Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration notwendig. Dies gilt insbesondere, wenn der Mittelwert aus allen Betriebspunkten eines einzelnen Wasserwerkes die 1-WL-Grenze überschreitet. Das sind immerhin noch 10 % der untersuchten Betriebe, wobei sich für das untersuchte Gesamtkollektiv ein Medianwert von 0,4 WL ergibt. Bei einigen Wasserwerken wurden deshalb mit Hilfe von kontinuierlichen Messungen erste Versuche gestartet, die Gründe für die Radonkontamination zu erkennen und Empfehlungen zur Abhilfe zu geben. Als Ursache kommen in erster Linie geologische Faktoren infrage, d. h. Wassergewinnung aus einem Aquifer, das erhöhte Radiumwerte zeigt und Radon freisetzt. Hier gibt es einige auffällige Indikationen (z. B. Keupersandstein, Granitschotter), die aber noch nicht im Detail untersucht wurden. Innerhalb der Betriebe sind aber auch bei relativ geringen Radon-Ausgangswerten des Wassers (Bundesdurchschnitt ca. 6 000 Bq m⁻³) hohe Anreicherungen in der (Arbeits-) Luft möglich. Bei hohem Durchsatz (bis zu zehn Wasserwechsel pro Tag), möglichst konstanter Wasserhöhe im Behälter und direkter (offener) Verbindung des Hochbehälters zum übrigen Betrieb können sich hohe Aktivitätskonzentrationen in der Raumluft bei schlechter Belüftung aufbauen. Hinweis auf letztere ist häufig ein hoher Gleichgewichtsfaktor, der im Mittel bei $F \geq 0,5$ liegt.

Die Ergebnisse einer Detailuntersuchung in einem höherbelasteten Wasserwerk zeigt die Abbildung 5/23. In diesem Fall war die (geringe) Zwangsbelüftung, aber vor allem die Abkopplung des Rohrkellers vom Behälter erfolgreich.

Die endgültige detailliertere und statistische Auswertung der bisher auf ca. 80 Wasserwerke festgeschriebenen und nicht flächendeckenden Untersuchung wird bis Mitte 1997 erfolgen. Die Erkenntnis, daß 15 % aller Betriebspunkte und 10 % der Wasserwerke potentiell expositionsgefährdet sind, bedeutet, daß alle Wasserwerke ausgemessen werden sollten, möglicherweise mit einfachen Mitteln, wie sie z. B. bei den Erhebungsmessungen in Häusern mit passiven Radondosimetern erfolgten. Vom Standpunkt des Strahlenschutzes ist das Auffinden und Sanieren höherexponierter Arbeitsplätze von großer Bedeutung, weil die Einbeziehung dieses Teils der natürlichen Strahlenexposition in die neue Strahlenschutzverordnung vor dem Hintergrund der EU-Grundnormen als abgesichert gilt.

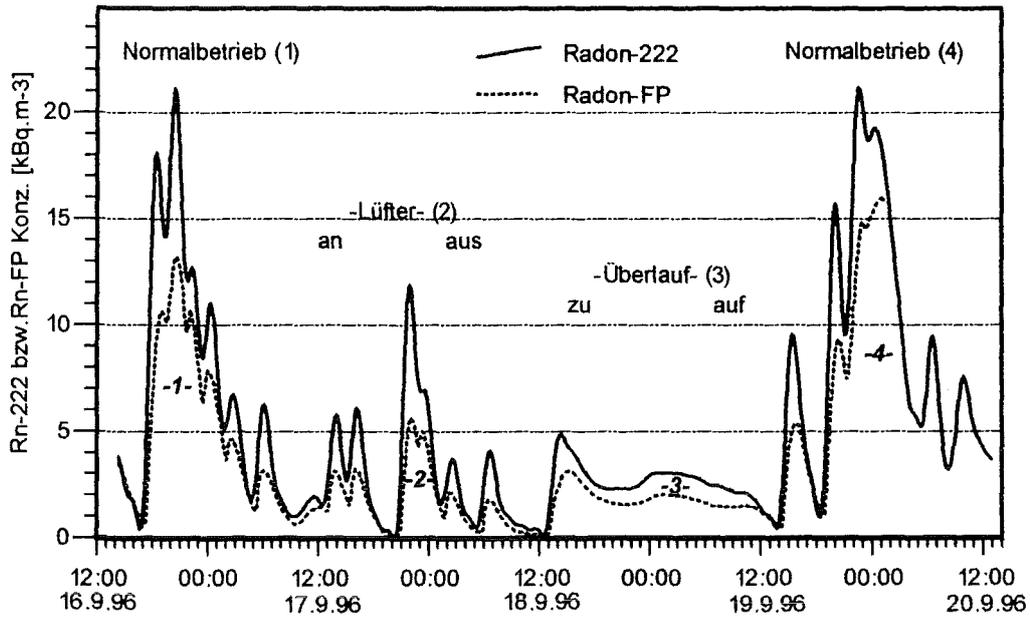
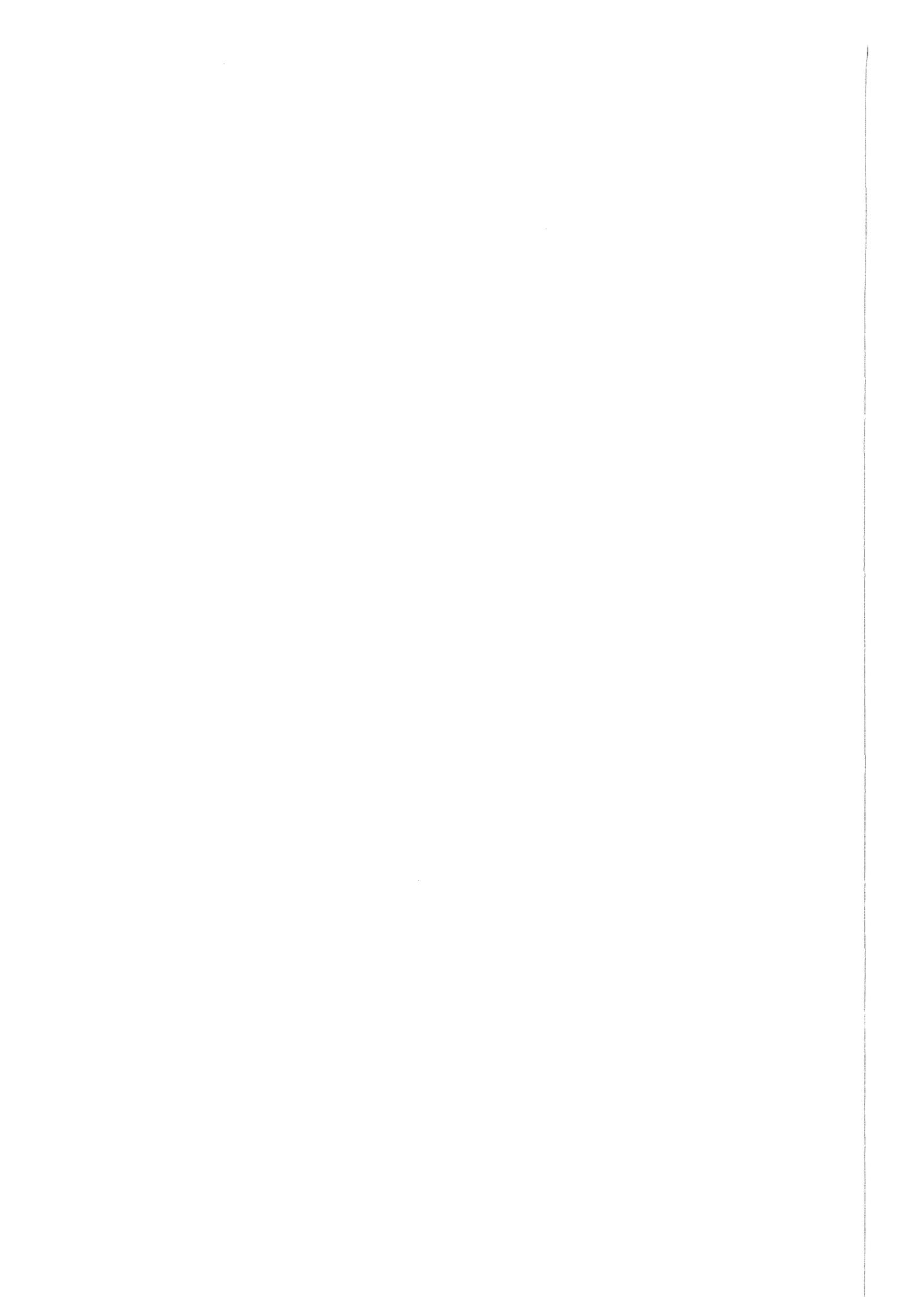


Abb. 5/23: Zeitlicher Verlauf der Radon- und Radon-Folgeproduktkonzentration in einem höherbelasteten Wasserwerk



6 Werkschutz

von Holleuffer-Kypke

Der Berichtszeitraum war für die Abteilung Werkschutz mit den zur betrieblichen Sicherheit zählenden Bereichen Werkschutz und Werkfeuerwehr ein Jahr ohne Änderungen in der Sicherheitslage. Ereignisse mit besonderer Bedeutung waren die Festwoche "40 Jahre Forschungszentrum Karlsruhe" vom 1. bis 6. Juli 1996 und die "Feuerwehrübung Hardt" am 27. September 1996.

In der Festwoche kam der Werkschutz in der Schwarzwaldhalle des Karlsruher Kongreßzentrums zum Einsatz. Die Aufgaben bestanden in der Sicherung der installierten Technik sowie der Veranstaltungsdienst direkt vor, während und zum Abschluß des Festaktes am 2. Juli 1996. Einen personellen Großeinsatz gab es für die Mitarbeiter am Samstag, den 6. Juli 1996. Das Forschungszentrum hatte zu einem "Tag der offenen Tür" geladen. Trotz anfänglich regnerischen Wetters kamen rund 35 000 Besucher.

Die Übung der Werkfeuerwehr unter Einbindung der Überlandhilfe aus den umliegenden Landgemeinden sollte die Zusammenarbeit der internen Sicherheitskräfte mit heranzuführenden Einsatzkräften üben. Es zeigte sich, daß diese Zusammenarbeit trotz eines komplexen Geländes erfolgreich und wirksam abläuft.

Im Bereich der Objektsicherung kerntechnischer Anlagen wurden Gespräche mit den Behörden zur weiteren Anpassung der Sicherung an das ständig weiter sinkende Gefährdungspotential geführt.

6.1 Anmeldung und Zugang

6.1.1 Betriebsausweise

Im Jahr 1996 wurden 5 080 neue Ausweise ausgestellt und 5 052 Ausweise eingezogen. Instituts-, Abteilungs- und Namenswechsel sowie Änderungen von Personen- und Firmennamen machten in 710 Fällen einen Ausweisumtausch erforderlich. Die Gesamtzahl der in Umlauf befindlichen Ausweise belief sich 1996 auf 10 032, dabei setzt sich die Gesamtzahl wie folgt zusammen:

3 804	FZK-Mitarbeiter	1 522	FZK-Rentner
316	WAK-Mitarbeiter	91	WAK-Rentner
300	FIZ-Mitarbeiter	29	FIZ-Rentner
231	ITU-Mitarbeiter	66	ITU-Rentner
151	BFE-Mitarbeiter	23	BFE-Rentner
94	KBG-Mitarbeiter	100	KBG-Rentner
23	KHG-Mitarbeiter		
424	Universitätsangehörige		
2 764	Fremdfirmenangehörige		

1996 wurden 70 Fremdfirmen mit insgesamt 252 ausstehenden Betriebsausweisen sowie 273 Einzelpersonen angeschrieben und um die Rückgabe ihrer abgelaufenen Betriebsausweise ersucht.

Da nur Mitarbeiter des Forschungszentrums und die ihnen gleichgestellten Mitarbeiter der anderen wissenschaftlichen Einrichtungen auf dem Gelände rund um die Uhr Zutritt haben, wurden von den Organisationseinheiten 2 422 Anträge für Zutritte/Arbeiten außerhalb der Regelarbeitszeit für Fremdfirmenangehörige bearbeitet.

6.1.2 Besucher

Im Jahr 1996 kamen insgesamt 32 920 Besucher zur Anmeldung (1995: 32 260). Das Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt meldete zusätzlich 2 359 Kursteilnehmer per Listen an, die Geländerundfahrten unter Begleitung von FZK-Besucherführern unternahmen. Durch die Stabsabteilung Öffentlichkeitsarbeit wurden 4 097 Anträge für Besuchergruppen sowie 33 Anträge für Sonderzugang zum Zentrum gestellt. Für kurzfristig im Forschungszentrum eingesetzte Fremdfirmenangehörige wurden 2 090 befristete Passierscheine ausgestellt (1995: 1 822).

6.1.3 Zentrale Güterkontrolle

An der Zentralen Güterkontrolle wurden im Berichtszeitraum für Fremdfirmen und Anlieferer 21 162 Warendurchlaßpassierscheine ausgestellt sowie 1 759 Anlieferungen/Abholungen von Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen bearbeitet.

Die im Forschungszentrum tätigen Fremdfirmen hielten sich weitgehend an die Ordnungs- und Kontrollbestimmungen. Es kam lediglich zu zwei Sicherstellungen von Materialien, da die Ausführenden zum Zeitpunkt der Ausfuhr nicht die erforderlichen Ausfuhrpapiere vorweisen konnten. Nach Prüfung der Eigentumsverhältnisse wurde das sicher gestellte Gut an die Eigentümer zurückgegeben.

6.1.4 Sicherheitsüberprüfungen

Gemäß den atomrechtlichen Auflagen wurden die Anträge zu Personensicherheitsüberprüfungen (Zutritte zu äußeren und inneren Sicherheitsbereichen in kerntechnischen Anlagen) bei der Aufsichtsbehörde eingereicht. Bis auf wenige Einzelfälle wurde dem Zutrittsersuchen stattgegeben.

6.1.5 Fundsachen

Bei der Anmeldung wurden im Berichtsjahr 15 Fundgegenstände abgegeben. Davon konnten sechs Gegenstände den rechtmäßigen Besitzern ausgehändigt werden. Die nicht abgeholt Fundsachen wurden nach Veröffentlichung durch einen befristeten Aushang der zuständigen Gemeindeverwaltung übergeben.

6.2 Werkschutzbereiche

6.2.1 Werkschutzschichten

Zur Gewährleistung der Ordnung und Sicherheit für den Betrieb und die Belegschaft unterhält das Forschungszentrum einen Werkschutz. Der Werkschutz führt die Kontrollen am Haupttor durch und bestreift die Gebäude und die nicht zu kerntechnischen Inseln gehörenden Lagerbereiche und Freigelände sowie die außerhalb des Zentrums liegenden Anlagen der KHG. In der Streifentätigkeit überwacht der Werkschutz die Einhaltung

der Bestimmungen des Arbeitsschutzes, des vorbeugenden Brandschutzes und des Umweltschutzes. Zusätzlich kontrolliert der Werkschutz in regelmäßigen Abständen angemeldete wissenschaftlich-technische Experimente, wobei gemäß Vorgabe die zuständigen Versuchsleiter im Falle von Störungen oder bei Ausfall der Anlagen benachrichtigt werden.

6.2.2 Alarmzentrale

1996 sind in der Alarmzentrale 2 526 Alarm- und Störmeldungen eingegangen und bearbeitet worden. Im einzelnen waren es:

allgemeine Meldungen	1 749
technische Überwachungen	505
Brandmelder	86
Wasserüberwachungen	86
Objektsicherung	48
Strahlenschutz	32
Alarmübungen	20

Dabei kam es zu insgesamt 2 165 Einsätzen, die durch die Alarmzentrale zu dokumentieren waren. Im einzelnen wurden folgende Einsatzgruppen gerufen:

Wartungsdienste	881
Rufbereitschaften	485
Feuerwehr	208
Einsatzleiter vom Dienst	200
Sankra-Deko	143
Versuchsleiter	86
Strahlenschutz	70
Betriebsverantwortliche	66
Klärwerkspersonal	26

Alle in der Alarmzentrale eingesetzten Mitarbeiter wurden praxisbezogen weitergebildet, so daß in diesem Bereich ein fachkundiger Umgang mit den hochentwickelten technischen Systemen gewährleistet ist.

Die in der Alarmzentrale installierten rechnergestützten Systeme wurden hard- und softwaremäßig der technischen Entwicklung angepaßt, um die Einsatzfähigkeit und Kompatibilität mit Erweiterungen sicherzustellen. 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 noch eine Handdatei geführt.

6.2.3 Kerntechnische Objektsicherung

Der Objektsicherungsdienst kontrolliert den Zugang zum Forschungszentrum und zur Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe und führt Streifen am Außenzaun und im Freigelände im Bereich der kerntechnischen Anlagen (HDB, ITU, WAK) durch. Mit dem aus dem Objektsicherungsdienst gebildeten Alarmverstärkungstrupp werden regelmäßig Sicherungsalarmübungen in Zusammenarbeit mit den Objektsicherungsdiensten der WAK und ITU abgehalten.

6.3 Werkfeuerwehr

6.3.1 Werkfeuerwehrschichten

Zum vorbeugenden und abwehrenden Brandschutz sowie zur Behebung akuter Not-situationen unterhält die Forschungszentrum Karlsruhe GmbH eine Werkfeuerwehr, deren Stärke 23 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. Sollte die anwesende Mannschaftsstärke der Werkfeuerwehr nicht ausreichen, werden die Rufbereitschaft der Werkfeuerwehr und der Feuerwehrrupp zur Unterstützung alarmiert.

6.3.2 Einsätze und dienstbegleitende Aufgaben

1996 kam es zu 265 feuerwehrtechnischen Einsätzen. Der Anteil der Einsätze an einem Brand war dabei nur 6 %. Im einzelnen waren es folgende Einsätze:

Technische Hilfeleistung (davon 25 Personenbefreiungen aus Fahrstühlen) und Wassereinsätze	183
Brandmeldealarme	57
Brandeinsätze	16
Einsätze zur Tierrettung	5
Hilfeleistungen bei Verkehrsunfällen	4

Im Rahmen der wiederkehrenden Prüfungen und der regelmäßigen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten im Rahmen des baulich-technischen und vorbeugenden Brandschutzes wurden gewartet und geprüft:

Handfeuerlöscher	4 493
Überflurhydranten	352
Wandhydranten	212

In der Atemschutzzentrale der Werkfeuerwehr wurden die Atemschutz-Geräte, -Masken und -Vollschutzanzüge aus den Instituten und Abteilungen des Forschungszentrums, der Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft und dem Institut für Transurane, gewartet und geprüft sowie bedarfsweise desinfiziert. Im einzelnen wurden folgende Stückzahlen erreicht:

Atemschutzmasken gereinigt, desinfiziert, gewartet und geprüft	18 623
Druckluftflaschen (Volumen <50 l) gefüllt	1 347
Druckluftflaschen zur wiederkehrenden Prüfung vorgeführt und gefüllt	262
Lungenautomaten gewartet und geprüft	199
Preßluftatmer gewartet und geprüft	123

Zu den beschriebenen Aufgaben kamen noch Überwachungen und Kontrollen von 197 Erlaubnisscheinen für Schweiß-, Schneid-, Löt- und Auftauarbeiten innerhalb des Geländes in feuergefährdeten Bereichen. Für Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten an über 1 000 Dienstfahrrädern des Forschungszentrums wurden von der Werkfeuerwehr 811 Stunden aufgebracht.

6.3.3 Ausbildung

Die Ausbildung setzt sich zusammen aus der Aus- und Weiterbildung der eigenen Mitarbeiter der Werkfeuerwehr und aus der Vermittlung von feuerwehrspezifischem Grundwissen im Rahmen der Brandschutzvorsorge an betriebseigenem und externem Personal. Dabei wurden folgende Übungen und Kurse durchgeführt:

Feuerwehrrübungen mit dem Feuerwehrtrupp	36
Atemschutzkurse (mit insgesamt ca. 300 Teilnehmern)	33
Ausbildung am Handfeuerlöscher (mit insges. ca. 185 Teilnehmern)	15
Alarmübungen	8

Im Rahmen der Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter der Werkfeuerwehr wurden weiterführende Kurse zur weiteren Qualifizierung des Einsatzpersonals zum Beispiel an der Landesfeuerwehrschule in Bruchsal erfolgreich besucht. Nachfolgende Qualifikationen konnten im Berichtszeitraum erworben werden.

Gerätewart-Seminar, Atemschutzgeräte	25
Fachlehrgang für Sachkundige (tragbare Feuerlöscher)	7
Fachlehrgang Druckbehälterverordnung	4
Technische Hilfeleistung	2
Umweltschutz 2	1
Ausbilder für Atemschutz	1
Atemschutzgerätewart/Gerätewart (Grundlehrgang)	1
Sanitätshelferlehrgang	1

6.4 Verkehrsdienst
6.4.1 Verkehrsunfälle

Mit 84 Verkehrsunfällen nahm die Zahl der vom Verkehrsdienst aufgenommenen und bearbeiteten Verkehrsunfälle gegenüber dem Vorjahr um 16 Fälle ab (Tab. 6/1). Bei 29 Unfällen entstand nur leichter Sachschaden, während bei 55 Unfällen der geschätzte Schaden über DM 1 000,- lag. Darüber hinaus waren sieben Unfälle mit Verletzungen von Personen zu bearbeiten. Bei sechs Verkehrsunfällen haben sich die Unfallverursacher durch unerlaubtes Entfernen von der Unfallstelle der Unfallaufnahme entzogen. Die Verursacher konnten nur in ein Fall ausfindig gemacht werden, so daß der Schaden von den Geschädigten selbst getragen werden mußte.

Monat	Anzahl der Verkehrsunfälle			Sachschaden <1 000 DM 1996	Sachschaden >1 000 DM 1996	Personenschäden 1996
	1994	1995	1996			
Januar	8	12	9	5	4	0
Februar	7	5	6	1	5	0
März	7	10	6	4	2	0
April	4	5	12	5	7	0
Mai	7	9	8	4	4	2
Juni	5	5	4	2	2	0
Juli	5	10	4	1	3	3
August	5	9	8	3	5	0
September	9	7	6	1	5	0
Oktober	6	9	10	1	9	2
November	4	13	7	1	6	0
Dezember	8	6	4	1	3	0
gesamt	75	100	84	29	55	7

Tab. 6/1: Verkehrsunfälle

6.5 Schadensaufnahme
6.5.1 Arbeitsunfälle

In Zusammenarbeit mit den zuständigen Fachabteilungen wurden im Berichtsjahr 212 Betriebsunfälle und sonstige Unfälle innerhalb des Zentrums aufgenommen und untersucht.

6.5.2 Sachbeschädigungen

Die Zahl der bekannt gewordenen und der Schadensaufnahme gemeldeten Sachbeschädigungen liegt mit 85 Fällen erheblich über der des Vorjahres (Tab. 6/2). Der entstandene Gesamtschaden beläuft sich auf ca. 670 000 DM. Die hohe Gesamtschadenssumme bei den Gebäude- und Sachschäden wurde verursacht durch zwei Großschäden (08.03.96, Verpuffung in Bau 327, IRS; 21.08.96, Dampfexplosion im Bau 320, IRS).

beschädigte Gegenstände	Jahr	bekannt gewordene Fälle	aufgeklärte Fälle	geschätzter Schaden in TDM
Kabelschäden	1994	6	6	8
	1995	3	3	1
	1996	10	10	18
Lichtmasten	1994	3	2	13
	1995	1	0	2
	1996	3	1	5
Tore, Einzäunungen	1994	4	4	6
	1995	1	1	1
	1996	6	6	5
Gebäude, Sachschäden	1994	12	12	272
	1995	26	25	648
	1996	15	13	574
Dienst-Kfz.	1994	28	27	56
	1995	38	35	83
	1996	41	39	55
Verschiedenes (Fenster, Türen, Bedachungen, Transport-, Sturmschäden)	1994	33	25	27
	1995	7	7	11
	1996	10	10	11
Summe	1994	86	76	382
	1995	76	71	776
	1996	85	79	668

Tab. 6/2: Sachbeschädigungen: Einsatz der Schadensaufnahme

6.5.3 Diebstahlsmeldungen

Die Anzahl der gemeldeten Diebstähle betrug im Berichtszeitraum 14 Fälle, wobei sich der Verlust an Sachwerten auf ca. 11 000 DM beläuft. Es konnten lediglich zwei Delikte aufgeklärt werden, da die Anzeigen meist viel zu spät bei der Schadensaufnahme eingingen, so daß die Ermittlungen von Anfang an zum Scheitern verurteilt waren.

6.6 Schlüsselerwaltung

Die Gebäude des Zentrums sind hinsichtlich der Schließebenen in General-, Haupt-, Obergruppen-, Gruppen- und Einzelschließungen unterteilt. Aus allen Schließsystemen ergibt sich ein Bestand von 27 146 Schließzylindern und 94 394 Einzelschlüsseln. Nach der Neukonzeption von Schließanlagen, die sich wegen der Errichtung von Neubauten oder durch Änderungen in Arbeitsabläufen ergaben, mußten 298 Schließzylinder und entsprechende Schlüssel neu beschafft werden. Eine große Anzahl von Schließzylindern und Schlüsseln war defekt oder abgenutzt und mußte erneuert oder ausgewechselt werden.

6.7 Technische Sicherungssysteme

Für verschiedene Gebäude im Zentrum wurden Beschreibungen zur Überführung von besonderen kerntechnischen Objektsicherungsmaßnahmen in Grundsicherungsmaßnahmen gemäß § 74 StrSchV detailliert ausgearbeitet und den Gutachtern und Genehmigungsbehörden zur Zustimmung vorgelegt.

In der Alarmzentrale wurden weitere zentrale Einrichtungen auf den aktuellen technischen Stand gebracht. Hierbei wurde die Gefahrenmeldedatei durch ein Anzeige- und Informationssystem ersetzt. In der Gefahrenmeldedatei sind alle Informationen zu einer Alarm- oder Störmeldung und die zu einer Gefahrenabwehr einzuleitenden Maßnahmen gespeichert. Die Gefahrenmeldedatei ist mit der Gefahrenmeldeanlage gekoppelt. Bisher konnten die Texte zu einer Meldelinie nur manuell aufgerufen werden: eine Seite auf dem Bildschirm, weitere Seiten als Ausdruck über Drucker. Durch Neugestaltung der Bildschirmmaske und Schematisierung der Maßnahmentexte wurde erreicht, daß alle wesentlichen Informationen und die zu veranlassenden Maßnahmen auf einer einzigen Bildschirmseite dargestellt werden. Diese Bildschirmseite wird jetzt durch die Gefahrenmeldanlage automatisch aufgerufen und angezeigt. Ergänzende Informationen können als weitere Seite(n) auf dem Bildschirm wiedergegeben werden. In der Alarmzentrale wurden insgesamt 2 370 Bildschirmseiten neu angelegt und bearbeitet.

Die im Zentrum vorhandene Fernsprechkommandoanlage - intern als "Rotes Telefon" bezeichnet - wurde durch ein aktuelles System ersetzt und den neuen Gegebenheiten angepaßt. Die Anlage dient als Fernmeldeverbindung zwischen ständig besetzten Objekten oder möglichst stets erreichbaren Personen der betrieblichen Sicherheits- und Sicherungsorganisationen. Eine interne Sprechverbindung wird normalerweise über den Vermittlungsplatz in der Alarmzentrale geführt. Durch einfaches Abheben des Handapparats ("Rotes Telefon") wird der rufende Teilnehmer mit dem Vermittlungsplatz verbunden. Dieser nimmt die Meldung oder den Auftrag entgegen und stellt gegebenenfalls eine weitere Verbindung her. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, innerhalb von fünf Sekunden nach Abheben des Handapparates einen anderen Teilnehmer direkt anzuwählen. Die Fernsprechkommandoanlage ist mit einer Konferenzschalteneinrichtung für bis zu acht Teilnehmer ausgestattet. Desweiteren können über den Vermittlungsplatz mehrere fest zugeordnete Apparate gleichzeitig gerufen werden. Das Gespräch wird dann an den ersten Apparat durchgeschaltet, welcher den Anruf entgegennimmt. Alle Teilnehmerleitungen werden auf Drahtbruch, Erd- und Kurzschluß überwacht. Eine Störung wird optisch und akustisch signalisiert. Der Vermittlungsplatz in der Alarmzentrale verfügt über ein LCD-Grafikdisplay mit 16 Zeilen. Verschiedenfarbige Ausleuchtungen der LCD-Tasten im Bedienfeld mit den visuellen Status- sowie Klartextanzeigen gewährleisten eine benutzerfreundliche Bedienung.

7 Veröffentlichungen

7.1 Veröffentlichungen, die gedruckt vorliegen

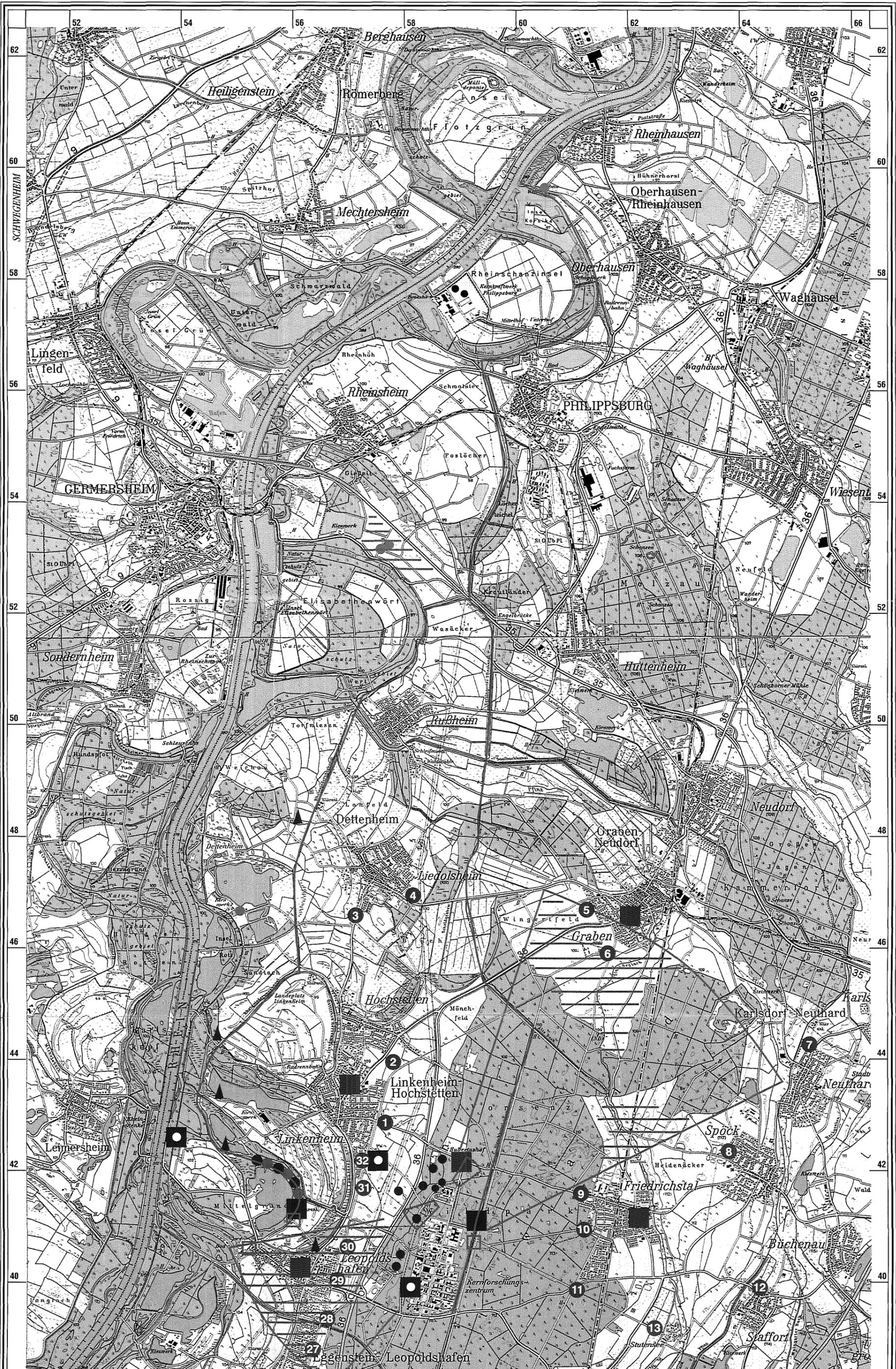
- [1] AVENHAUS, R.; SPANNAGEL, G.; Tritium accountancy and hidden inventories. 5th Topical Meeting on Tritium Technology in Fission, Fusion and Isotopic Applications, Belgirate, I, May 28 - June 3, 1995; Fusion Technology, 28 (1995) S. 1003
- [2] BAYER, A.; HAUSKE, H.; KANISCH, G.; KUKLA, W.; LUX, D.; MUNDSCHENK, H.; NARROG, J.; NEU, A.; NIESSL, A.; RÜHLE, H.; VÖLKE, H.; WEDEKIND, C.; WEISS, W.; WICHEN, A.; WINTER, M.; WIRTH, E.; WOLFF, S.; ZEISING, H.; Umgebungs- und Umweltüberwachung heute: Bilanz aus 40 Jahren Erfahrung. Strahlenschutzpraxis, 2 (1996) Nr. 4, S. 3-51
- [3] BILSKI, P.; OLKO, P.; BURGGHARDT, B.; PIESCH, E.; Ultra-thin LiF:Mg,Cu,P detectors for beta dosimetry. Solid State Dosimetry Conf., Budapest, H, July 10-14, 1995; Radiation Measurements, 24 (1995) S. 439-43
- [4] BUDZANOWSKI, M.; BURGGHARDT, B.; OLKO, P.; PESSARA, W.; WALIGORSKI, M. P. R.; Long-term investigation on self-irradiation and sensitivity to cosmic rays of TL detector types TLD-200, TLD-700, MCP-N and new phosphate glass dosimeters. Solid State Dosimetry: Proc. of the 11th Internat. Conf., Budapest, H, July 10-14, 1995; Part II; Radiation Protection Dosimetry, 65 (1996) S. 135-38
- [5] BURGGHARDT, B.; FESTAG, J. G.; PIESCH, E.; UGI, S.; New aspects of environmental monitoring using flat phosphate glass and thermoluminescence dosimeters. Solid State Dosimetry: Proc. of the 11th Internat. Conf., Budapest, H, July 10-14, 1995; Part II; Radiation Protection Dosimetry, 65 (1996) S. 187-92
- [6] BURGGHARDT, B.; KUPSCHUS, A.; VILGIS, M.; PIESCH, E.; DÖRSCHEL, B.; Polycarbonate track etched detectors for qualitative alpha spectroscopy in radon environments. Solid State Dosimetry: Proc. of the 11th Internat. Conf., Budapest, H, July 10-14, 1995 Part II; Radiation Protection Dosimetry, 65 (1996) S. 331-34
- [7] BURGGHARDT, B.; PIESCH, E.; VILGIS, M.; IKEGAMI, T.; SATO, M.; Gerät zur Messung der Strahlendosis eines Fluoreszenzglasdosimeters. EP-PS 59 010 146 (21.2.1996)
- [8] BURGGHARDT, B.; UGI, S.; VILGIS, M.; PIESCH, E.; Experience with phosphate glass dosimeters in personal and area monitoring. Solid State Dosimetry: Proc. of the 11th Internat. Conf., Budapest, H, July 10-14, 1995; Part II; Radiation Protection Dosimetry, 65 (1996) S. 83-88
- [9] CZARWINSKI, R.; SCHMITZ, J.; SCHWEDT, J.; ULLMANN, W.; Strahlenexposition durch Radon am Arbeitsplatz - ein relevantes Problem für den Strahlenschutz? Strahlenschutzpraxis, 2 (1996) Nr. 3, S. 11-16
- [10] DÖRSCHEL, B.; BURGGHARDT, B.; KUBSCH, T.; KUPSCHUS, A.; PIESCH, E.; REINHARD, J.; Measurement of the potential alpha energy concentration in air by separate registration of the radon decay product 214-Po using nuclear track etched detectors. 9th Internat. Congress on Radiation Protection (IRPA9), Wien, A, April 14-19, 1996; Proc. Vol. 2, S. 157-59; Seibersdorf: Internat. Radiation Protection Association, 1996

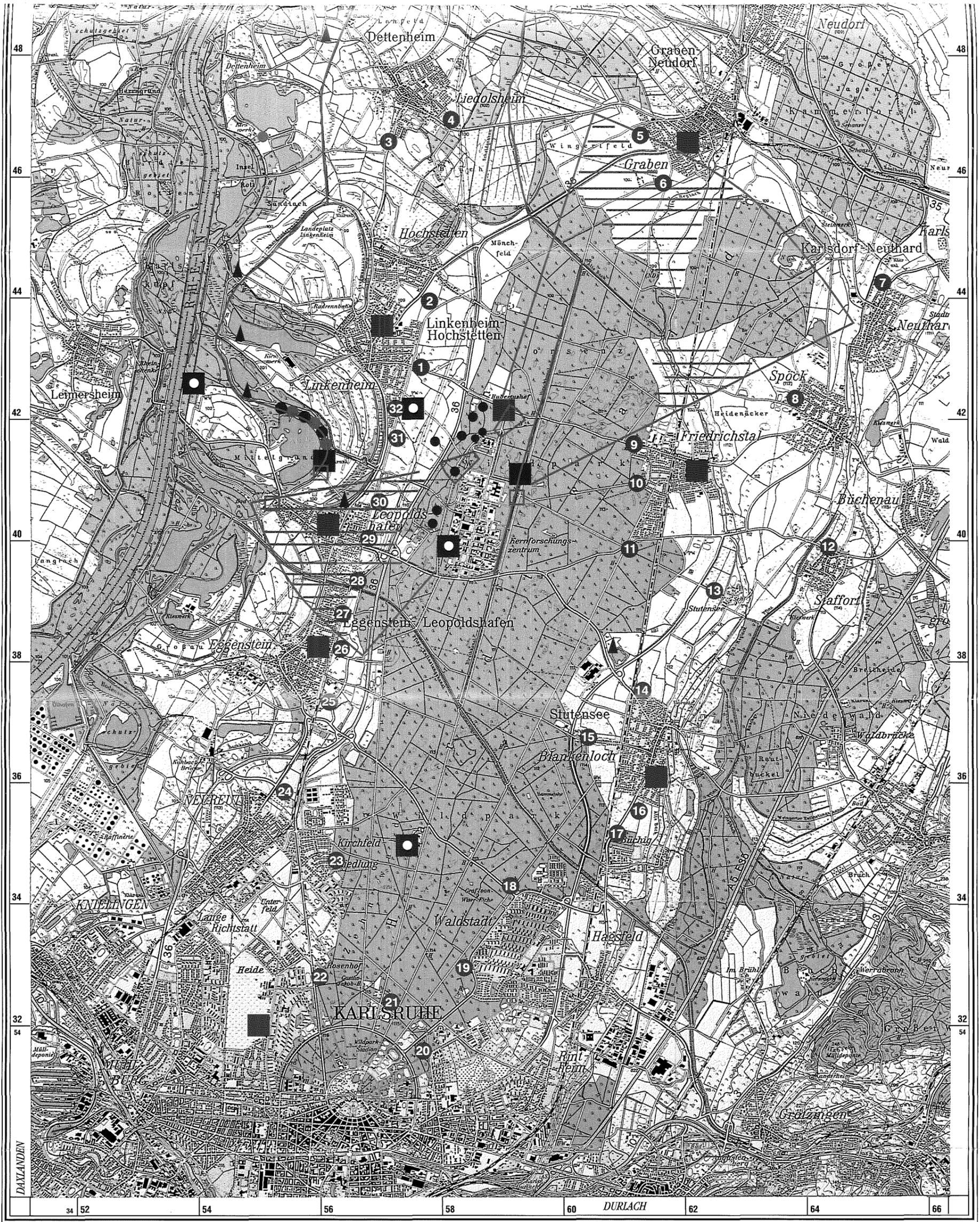
- [11] DIABATE, S.; STRACK, S.; RASKOB, W.; Studies on tritium incorporation into wheat plants after short-term exposure to atmospheric tritium. Frissel, M. J. [Hrsg.] Improvement of Environmental Transfer Models and Parameters: Internat. Workshop, Tokyo, J, February 5-6, 1996, S. 121-35
- [12] FRITSCH, R.; SCHMITZ, J.; Bestandsaufnahme von Rückstandshalden aus Bergbau und Erzaufbereitung in Baden-Württemberg. Band I: Nördlicher Teil. Wissenschaftliche Berichte, FZKA-5768B (März 96)
- [13] FRITSCH, R.; SCHMITZ, J.; Bestandsaufnahme von Rückstandshalden aus Bergbau und Erzaufbereitung in Baden-Württemberg. Band II: Mittlerer Teil. Wissenschaftliche Berichte, FZKA-5769B (März 96)
- [14] FRITSCH, R.; SCHMITZ, J.; Bestandsaufnahme von Rückstandshalden aus Bergbau und Erzaufbereitung in Baden-Württemberg. Band III: Südlicher Teil. Wissenschaftliche Berichte, FZKA-5770B (März 96)
- [15] HUBER, E.; URBAN, M.; KÖHLER, W.; Kalibriersysteme für niederfrequente elektrische und magnetische Feldsensoren. Schmeer, H. R. [Hrsg.] Elektromagnetische Verträglichkeit: 5. Internat. Fachmesse und Kongreß, Karlsruhe, 20.-22. Februar 1996; Berlin [u. a.]: VDE-Verl., 1996 S. 789-99
- [16] KNAPP, S.; KOELZER, W.; CZAKAINSKI, M.; Kernenergie. Basisinformationen mit Erläuterungen. Köln: Aulis/Deubner, 1996, 2., vollst. überarb. Aufl.
- [17] KOELZER, W.; [HRSG.] Jahresbericht 1995 der Hauptabteilung Sicherheit. Wissenschaftliche Berichte, FZKA-5730 (April 96) (39260)
- [18] LLOYD, R. D.; POLIG, E.; TAYLOR, G. N.; BRUENGER, F. W.; MILLER, S. C.; Uranium skeletal dosimetry and distribution in young adult beagles: a guide for calculating uranium skeletal doses in humans. Health Physics, 70 (1996) S. 396-401
- [19] MANDL, B.; PINTER, J.; Gefahrgut-Transport. Beförderung gefährlicher Güter auf Strasse, Schiene, Binnenwasserstrasse. Neuwied [u. a.]: Luchterhand, 1996
- [20] RANOGAJEC-KOMOR, M.; VEKIC, B.; PIESCH, E.; BURGKHARDT, B.; SZABO, P. P.; International intercomparison of solid state dosimeters within environmental monitoring programme. Solid State Dosimetry: Proc. of the 11th Internat. Conf., Budapest, H, July 10-14, 1995 Part II; Radiation Protection Dosimetry, 65 (1996) S. 139-44
- [21] RASKOB, W.; STRACK, S.; et al.; Tritium in the food chain. Comparison of predicted and observed behaviour. A. Re-emission from soil and vegetation. B. Formation of organically bound tritium in grain of spring wheat. BIOMOVS II Technical Report No. 13 (September 96)
- [22] RASKOB, W.; STRACK, S.; et al.; Tritium in the food chain. Intercomparison of model predictions of contamination in soil, crops, milk and beef after a short exposure to tritiated water vapour in air. B. Formation of organically bound tritium in grain of spring wheat. BIOMOVS II Technical Report No. 8 (September 96)
- [23] SCHMITZ, J.; Strahlenexposition durch Radon am Arbeitsplatz. Siehl, A. [Hrsg.] Umweltradioaktivität, Berlin: Ernst, 1996 S. 283-98 (Geologie und Ökologie im Kontext)

- [24] SIEFERMANN-HARMS, D.; BOXLER-BALDOMA, C.; DIABATE, S.; HEUMANN, H. G.; HOCH, R.; NAGEL, E.; PFÜNDEL, E.; SCHNECKENBURGER, H.; SEIDEL, A.; STRACK, S.; TREFZ-MALCHER, G.; WILPERT, K. VON; ZEIL, M.; Funktions- und Strukturänderungen im Photosyntheseapparat vergilbender Nadeln - keine Ergrünung nach Mg-Düngung. 12. Statuskolloquium des PEF am 12. und 13. März 1996 im Forschungszentrum Karlsruhe. FZKA-PEF 142 (April 96) S. 135-49
- [25] STREZOV, A.; YORDANOVA, I.; PIMPL, M.; STOILOVA, T.; Natural radionuclide and plutonium content in Black Sea bottom sediments. Health Physics, 70 (1996) S. 70-80
- [26] WINTER, M.; Umgebungs- und Umweltüberwachung heute: ein Resümee. Strahlenschutzpraxis, 2 (1996) Nr. 4, S. 46-47
- [27] YAKOVLEV, A.; POLIG, E.; A diversity of responses displayed by a stochastic model of radiation carcinogenesis allowing for cell death. Mathematical Biosciences, 132 (1996) S. 1-33
- 7.2 Vorträge, die nicht in gedruckter Form vorliegen
- [28] AVENHAUS, R.; SPANNAGEL, G.; Accountancy penalty in case of hidden inventories. 19th Internat.Symp. on Fusion Technology, Lisboa, P, September 16-20, 1996
- [29] BREUKELMANN, G.; DALHEIMER, A.; DILGER, H.; HENRICHS, K.; Incorporation monitoring by measurements of activity concentrations in air. 6th Internat. Conf. on Low Level Measurements of Actinides and Long-Lived Radionuclides in Biological and Environmental Samples, Cherbourg, F, September 9-13, 1996
- [30] DOERFEL, H.; Direct internal dosimetry. A new way for routine incorporation monitoring of Hg-emitting radionuclides. Internat. Congress on Radiation Protection, Wien, A, April 14-19, 1996
- [31] HOEPPENER-KRAMAR, U.; PIMPL, M.; WILLMANN, F.; Application of procedures for low level radionuclide analysis in environmental monitoring for the purpose of clearance measurements of materials from decommissioning of nuclear facilities. 6th Internat. Conf. on Low Level Measurements of Actinides and Long-Lived Radionuclides in Biological and Environmental Samples, Cherbourg, F, September 9-13, 1996
- [32] HUBER, E.; URBAN, M.; Sensors for low frequency electromagnetic radiation. Internat. Congress on Radiation Protection, Wien, A, April 14-19, 1996
- [33] KLETT, A.; BURGHARDT, B.; The new remcounter LB6411: measurement of neutron ambient dose equivalent H(10) according to ICRP60 with high sensitivity. Nuclear Science Symp. and Medical Imaging Conf., Anaheim, Calif., November 2-10, 1996
- [34] POLIG, E.; Biokinetic modelling of skeletal labels from Pu-239. Internat. Congress on Radiation Protection, Wien, A, April 14-19, 1996
- [35] RASKOB, W.; DIABATE, S.; STRACK, S.; A new approach for modelling the formation and translocation of organically bound tritium in accident con-

sequence assessment codes. Internat. Symp. on Ionizing Radiation: Protection of the Natural Environment, Stockholm, S, May 20-24, 1996

- [36] WINTER, M.; Monitoring environmental radioactivity in Germany. Programs applicable to the vicinity of nuclear power plants and the entire national territory. Internat. Symp. on Nuclear Energy and the Environment, Beijing, China, October 14-18, 1996; Book of Abstracts S. 231





0 1 2 3 4 5 Kilometer

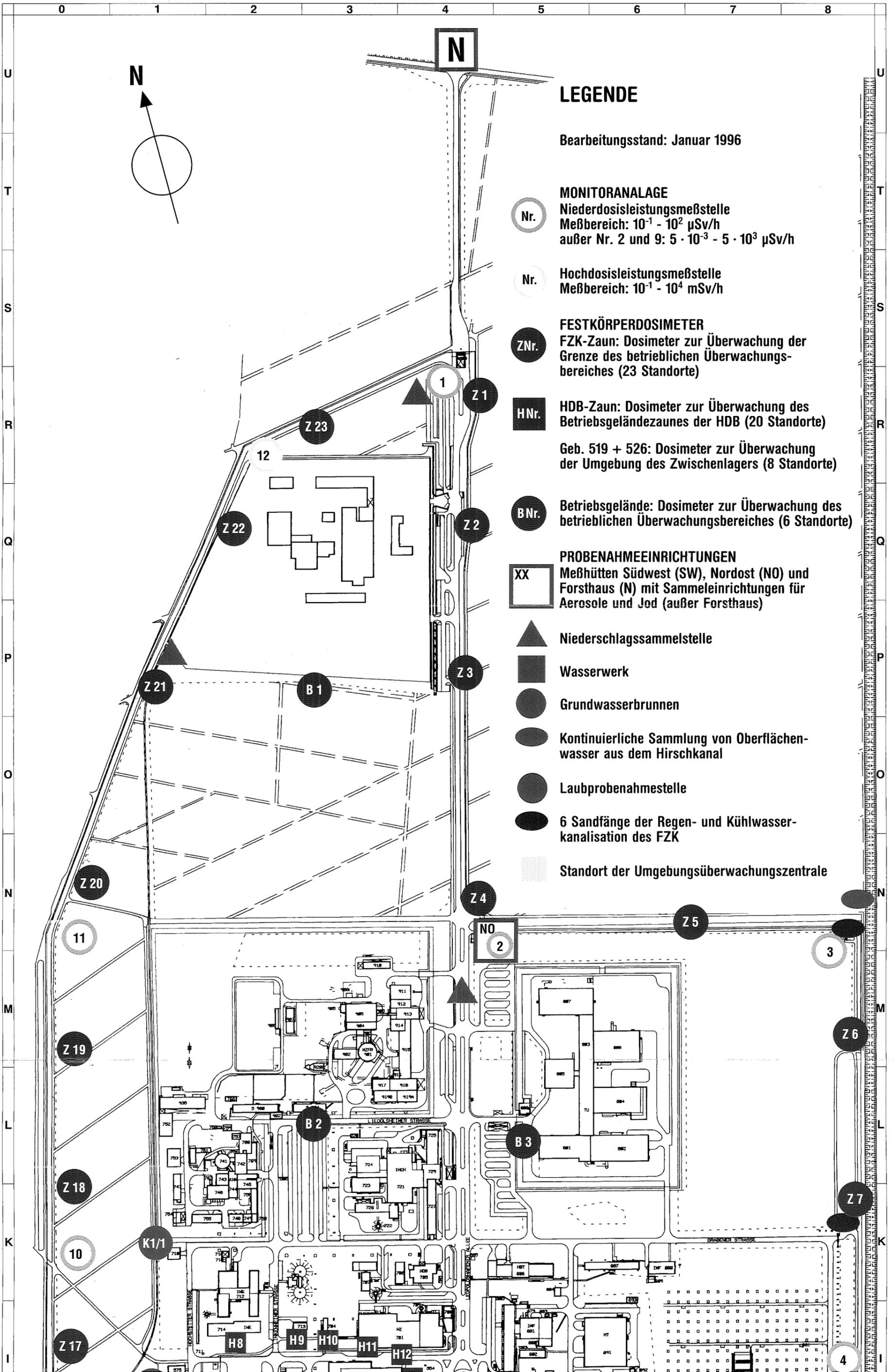
Darstellung auf der Grundlage der Topographischen Karte 1:50 000, Ausschnitt aus den Blättern L 67 16 und L 69 16 mit Erlaubnis des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg vom 10.1.1996, Az.: 5.13/1266.

Legende

Bearbeitungsstand: Januar 1996

- | | | | | |
|--|---------------------------|-------------------|--|------------------------------|
| Außenstation | Trinkwasser (Wasserwerke) | Oberflächenwasser | Vorflutkanal der Abwässer des FZK zum Rheinniederungskanal | Boden |
| Festkörperdosimeter | Grundwasser (Brunnen) | Schlamm | Verlauf der als Vorfluter dienenden Oberflächengewässer | Landwirtschaftliche Produkte |
| Grundwasser (Eigenwasserversorgung) | Fisch | | | Hauptausbreitungs-sektoren |
| kontinuierliche Probenahme von Oberflächenwasser | | | | |

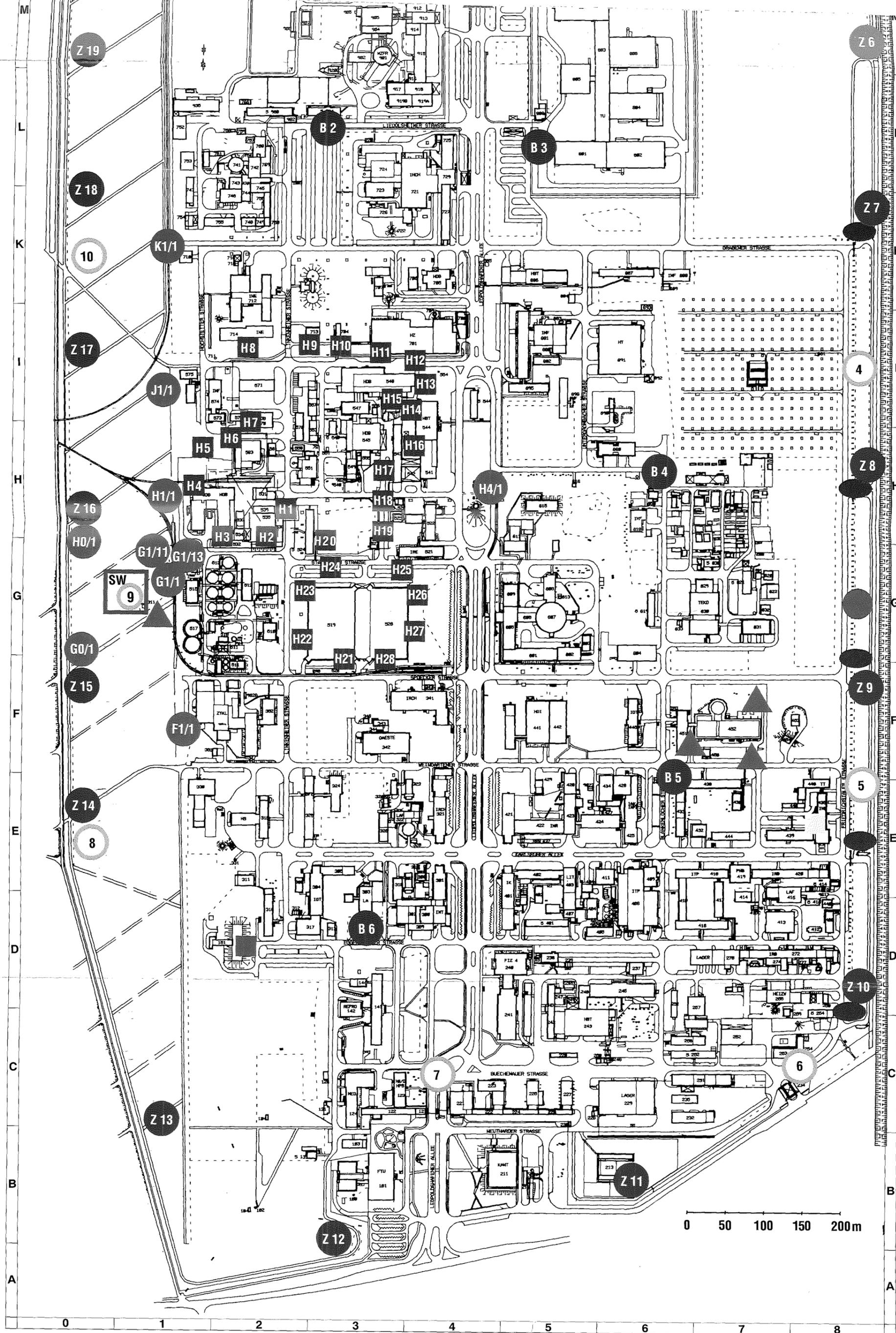
Lageplan Nr.1: Meß- und Probenahmestellen zur Umgebungsüberwachung des Forschungszentrums Karlsruhe



LEGENDE

Bearbeitungsstand: Januar 1996

- Nr.
MONITORANALAGE
 Niederdosisleistungsmeßstelle
 Meßbereich: $10^{-1} - 10^2 \mu\text{Sv/h}$
 außer Nr. 2 und 9: $5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^3 \mu\text{Sv/h}$
- Nr.
Hochdosisleistungsmeßstelle
 Meßbereich: $10^{-1} - 10^4 \text{mSv/h}$
- ZNr.
FESTKÖRPERDOSIMETER
 FZK-Zaun: Dosimeter zur Überwachung der Grenze des betrieblichen Überwachungsbereiches (23 Standorte)
- HNr.
HDB-Zaun: Dosimeter zur Überwachung des Betriebsgeländezaunes der HDB (20 Standorte)
 Geb. 519 + 526: Dosimeter zur Überwachung der Umgebung des Zwischenlagers (8 Standorte)
- BNr.
Betriebsgelände: Dosimeter zur Überwachung des betrieblichen Überwachungsbereiches (6 Standorte)
- XX
PROBENAHMEEINRICHTUNGEN
 Meßhütten Südwest (SW), Nordost (NO) und Forsthaus (N) mit Sammeleinrichtungen für Aerosole und Jod (außer Forsthaus)
- Niederschlagssammelstelle**
- Wasserwerk**
- Grundwasserbrunnen**
- Kontinuierliche Sammlung von Oberflächenwasser aus dem Hirschkanal**
- Laubprobenahmestelle**
- 6 Sandfänge der Regen- und Kühlwasserkanalisation des FZK**
- Standort der Umgebungsüberwachungszentrale**



Lageplan Nr. 2: Meßstellen und Probenahmeeinrichtungen innerhalb des betrieblichen Überwachungsbereiches des Forschungszentrums Karlsruhe