

**KfK 4207  
März 1987**

# **Jahresbericht 1986 der Hauptabteilung Sicherheit**

**Redaktion:  
H. Kiefer, L. A. König  
Hauptabteilung Sicherheit**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



**KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE**  
**Hauptabteilung Sicherheit**

**KfK 4207**

**Jahresbericht 1986**  
**der Hauptabteilung Sicherheit**

**Redaktion: H. Kiefer, L.A. König**

**An der Erarbeitung dieses Berichtes waren alle**  
**Mitarbeiter der Hauptabteilung beteiligt**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe**

Als Manuskript vervielfältigt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

## Zusammenfassung

Der Sicherheitsbeauftragte und der Sicherungsbeauftragte sind für die Gewährleistung des Strahlenschutzes und der technischen Sicherheit auf konventionellem und nuklearem Gebiet, für die Objektsicherung und die Überwachung der Kernmaterialien und radioaktiven Stoffe innerhalb der Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH zuständig. Zur Durchführung dieser Aufgaben bedienen sie sich der Hauptabteilung Sicherheit.

Die Aufgabenstellung der Hauptabteilung Sicherheit umfaßt sowohl die Strahlenschutz-, Sicherheits- und Sicherungsaufgaben für die Institute und Abteilungen des KfK sowie die Abwasser- und Umgebungsüberwachung für das gesamte Kernforschungszentrum Karlsruhe als auch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Schwerpunkte der F+E-Arbeiten waren: Untersuchungen des physikalischen und chemischen Verhaltens biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt, Verhalten von HT im System Luft/Boden/Pflanze, der Biophysik multizellulärer Systeme sowie Verbesserungen in der Strahlenschutzmeßtechnik.

Der vorliegende Bericht informiert über die einzelnen Aufgabengebiete, gibt die Ergebnisse der Routineaufgaben im Jahr 1986 wieder und berichtet über Untersuchungsergebnisse und Entwicklungen der verschiedenen Arbeitsgruppen der Hauptabteilung.

Central Safety Department, Annual Report 1986

## Summary

The Safety Officer and the Security Officer are responsible for radiation protection and technical safety, both conventional and nuclear, for the physical protection as well as the safeguards of nuclear materials and radioactive substances within the Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH (KfK). To fulfill these functions they rely on the assistance of the Central Safety Department.

The Central Safety Department is responsible for handling all problems of radiation protection, safety and security of the institutes and departments of the Karlsruhe Nuclear Research Center, for waste water activity measurements and environmental monitoring of the whole area of the Center, and for research and development work mainly focusing on nuclear safety and radiation protection measures. The r+d work concentrates on the following aspects: physical and chemical behavior of biologically particularly active radionuclides, behavior of HT in the air/plant/soil system, biophysics of multicellular systems, improvement in radiation protection measurement and personnel dosimetry.

This report gives details of the different duties, indicates the results of 1986 routine tasks and reports about results of investigations and developments of the working groups of the Department.

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

## Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Aufgabengebiete und Organisation der Hauptabteilung Sicherheit	1
2	Technisches Sicherheitsbüro	13
2.1	Strahlenschutz	14
2.1.1	Betriebsüberwachung	14
2.1.2	Unterstützung der Strahlenschutzbeauftragten	14
2.1.3	Personenüberwachung	15
2.1.4	Ergebnisse der Personendosisüberwachung	16
2.1.5	Bedingungen für die Beschäftigung von Fremdfirmenangehörigen, deren Arbeitgeber keine Genehmigung gem. § 20 a StrlSchV haben	20
2.2	Arbeitsschutz	21
2.2.1	Betriebsüberwachung	21
2.2.2	Arbeitsplatzüberwachung	23
2.2.3	Die Gefahrstoffverordnung und ihre Auswirkungen auf die KfK	25
2.2.4	Unfallgeschehen	28
2.2.5	Sicherheitsinformationen, Ausbildung und Sicherheitsnormen	31
2.2.6	Arbeitsschutzausschuß	33
2.3	Kernmaterialüberwachung	34
2.3.1	Gesetzliche Grundlagen und Struktur der Kernmaterialüberwachung der KfK	34
2.3.2	Inspektionen durch EURATOM und IAEO	35
2.3.3	Zentrale Buchhaltung zur Erfassung und Meldung von Kernmaterial	36
2.3.4	Zentrale Buchhaltung zur Erfassung und Meldung sonstiger radioaktiver Stoffe	37
2.3.5	Erfassung und Überwachung von Kernmaterialtransporten	39
2.4	Einsatzplanung für Störfälle und Unfälle und Einsatzleitung	39
2.4.1	Der Einsatzleiter vom Dienst	39
2.4.2	Analyse der EvD-Einsätze	41
2.4.3	Alarmübungen	46
2.4.4	Aktualisierung der Einsatzhilfsmittel	47
2.4.5	Meldepflichtige Ereignisse	49

	Seite	
2.5	Abfallwirtschaft	50
2.5.1	Entsorgung von inaktiven Abfällen	50
2.5.2	Zentrale Nachweisführung der Abfallbehandlung	51
2.6	EDV-Einsatz für administrative Aufgaben des Technischen Sicherheitsbüros	53
2.6.1	Regelmäßige EDV-Serviceleistungen	53
2.6.2	Vorbereitungen zur Verwirklichung des neuen Hard- und Softwarekonzeptes	57
2.6.3	Wiederkehrende Prüfungen	60
2.6.4	Das rechnergestützte Buchführungssystem zur Kernmaterialüberwachung der KfK	62
3	Sicherung	66
3.1	Objektsicherung	66
3.1.1	Objektsicherungsdienst	66
3.1.2	Alarmzentrale	67
3.1.3	Objektsicherungszentralen	68
3.1.4	Güterkontrolle	68
3.1.5	Ausbildung	68
3.1.6	Diensthundestaffel	69
3.2	Technische Sicherungssysteme	69
3.3	Ermittlungsdienste	70
3.4	Schließwesen	71
3.5	Verkehrsdienste	71
3.6	Buskontrollen	72
3.7	Personelle und administrative Sicherheitsfragen	72
3.7.1	Personenüberprüfung	72
3.7.2	Ausweisbüro	72
3.7.3	Empfangsdienst	73
3.7.4	Ausländerbetreuung	73
4	Strahlenschutzüberwachung	76
4.1	Arbeitsplatzüberwachung im KfK	78
4.1.1	Personendosimetrie mit Taschenionisationskammer	78

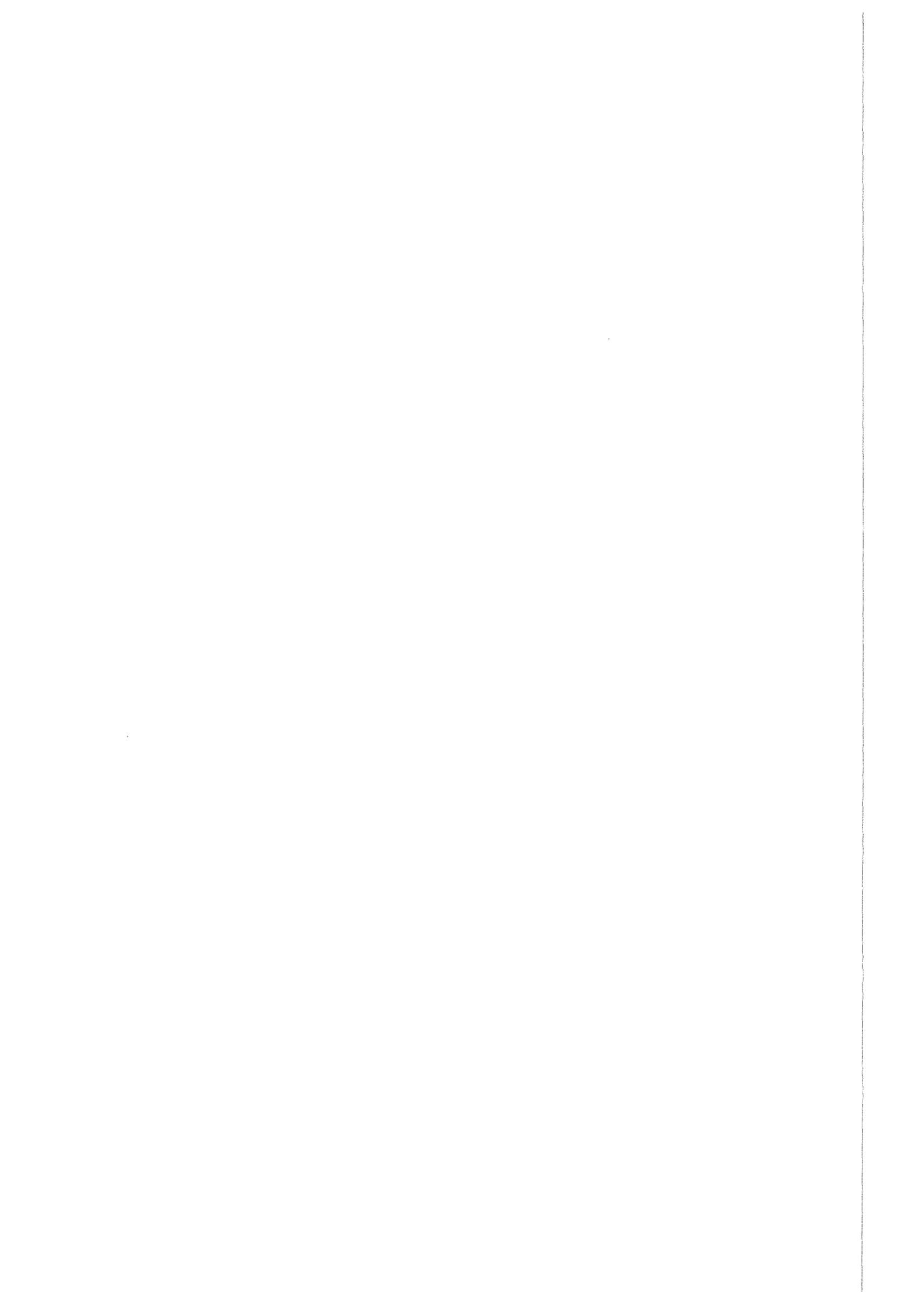
	Seite	
4.1.2	Oberflächenkontamination	78
4.1.3	Raumluftaktivitäten	78
4.1.4	Personenkontaminationen	80
4.2	Summendosen	80
4.3	Arbeitsplatzüberwachung im Zyklotron-Laboratorium	81
4.4	Strahlenschutzmeßlabor	85
4.5	Transporte radioaktiver Stoffe	87
4.6	Strahlenschutzarbeiten bei der Demontage der SNEAK	89
4.7	Wäschemonitor mit digitaler Aktivitätsmessung	91
5	Radioökologie	94
5.1	Berichte über Routineüberwachung	95
5.1.1	Abluftüberwachung	95
5.1.1.1	Grundsätze und Berechnungsgrundlagen	95
5.1.1.2	Emissionsdaten für 1986	100
5.1.1.3	Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung des KfK für 1986	105
5.1.1.4	Vorausgeschätzte Strahlenexposition auf der Basis des vorläufigen Abluftplans 1987	105
5.1.1.5	Messung der nuklidspezifischen Aerosolgrößenverteilung in der Fortluft der WAK	106
5.1.1.6	Die Aktiniden und Sr-Emissionen mit der Abluft wichtiger Emittenten des KfK und der WAK	111
5.1.2	Abwasser	112
5.1.2.1	Abwasserüberwachung	112
5.1.2.2	Die Aktiniden- und Sr-Emissionen mit dem Chemieabwasser des KfK	116
5.1.3	Umgebungsüberwachung	117
5.1.4	Spektrometrische Untersuchungen	129
5.1.5	Routinearbeiten der Gruppe "Radiochemie"	130
5.2	Ergebnisse radioökologischer Forschungsarbeiten	131
5.2.1	Tritiumkonzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln aus den Hauptausbreitungssektoren	131
5.2.2	Modellierung des Verhaltens von Tritium in Pflanzen	133
5.2.3	Radioökologische Untersuchungen in der Umgebung des Rheinniederungskanaals	134

	Seite	
5.2.4	Verhalten von Tritium im System Luft-Boden-Pflanze	137
5.2.5	Kontamination des Niederschlages durch die Tritiumemissionen in die Atmosphäre	138
5.2.6	Berechnungen der C-14- und Kr-85-Konzentrationen in der bodennahen Luft während der Auflösungen der abgebrannten Brennelemente in der WAK	139
5.2.7	Untersuchungen zum Boden-Pflanzen-Transfer von Np, Pu, Am und Cm	140
5.2.8	Einfluß des Redoxpotentials im Boden auf die Pflanzenverfügbarkeit von Np und Pu	143
5.2.9	Mobilität verschiedener Tc-99-Spezies im Boden und deren Aufnahme durch Pflanzen	148
5.2.10	Neuanlage eines Versuchs zur Mobilisierung von Schwermetallen durch Regenwürmer	150
5.2.11	Auswirkungen von steigenden Se-, As- und Ag-Gaben auf Keimfähigkeit von Erbse und Sommerweizen	155
5.2.12	Strahlenexposition von Bäumen durch den Tschernobyl-Unfall	158
6	Dosimetrie	159
6.1	Dosismessung zur Orts- und Personenüberwachung	159
6.1.1	Amtliche Personendosimetrie	159
6.1.2	Routineauswertung von Personen- und Ortsdosimetern	162
6.1.3	Vergleichsbestrahlungen	164
6.2	Photonendosimetrie	165
6.2.1	Umbau des UV-Laserauswertegerätes Toshiba FGD-8 für Flachglasdosimeter	165
6.2.2	Eigenschaften von Phosphatglasdosimetern bei gepulster UV-Laseranregung	166
6.2.3	Vorversuche zum Betastrahlungsnachweis in Phosphatgläsern	169
6.2.4	Ansprechvermögen einiger Dosisleistungsmeßgeräte gegenüber 6-MeV-Photonen	170
6.2.5	Nachweis von Dosiserhöhungen mit Thermolumineszenzdosimetern in der Umgebungsüberwachung	171
6.3	Neutronendosimetrie	173

	Seite	
6.3.1	Die Energieabhängigkeit von He-3-Proportionalzählern in Moderator- kugeln unterschiedlichen Durchmessers	173
6.3.2	Vergleich des Photonen-Neutronen-Ansprechvermögens von TLD600/700-Detektoren unterschiedlicher Dicke	174
6.3.3	Nachweis eines Neutronen-Meßwertanteils über den Glow-Peak eines TLD600-Detektors	176
6.3.4	Kalibrierung von Albedodosimetern im Streustrahlungsfeld	177
6.4	Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte	181
6.4.1	Untersuchungen zur Auswirkung der Radonemission aus der Uran- explorationsgrube Krunkelbach auf die Umwelt	181
6.4.2	Vergleich der Radon-Personendosimeter von CIA und KfK im Routinebetrieb	183
6.5	Spezielle Untersuchungen	186
6.5.1	Untersuchungen zum Thermolumineszenzverhalten von natürlichen Mineralien	186
6.5.2	Datierung von pleistozänen Travertinproben aus den Steinbrüchen in Stuttgart/Bad Cannstatt	188
6.6	Inkorporationsmessung	190
6.6.1	Routine- und Sondermessungen	190
6.6.2	25 Jahre Referenzmessungen im Karlsruhe Ganzkörperzähler	193
6.6.3	Vergleich der Cs-137-Referenzmessungen in verschiedenen Ländern seit 1961	196
6.6.4	Korrelation zwischen der Cs-137-Körperaktivität und dem Cs-137-Fallout im Raum Karlsruhe seit 1961	198
6.6.5	25 Jahre In-vivo-Messung von Transuranen bei KfK	202
6.7	Strahlenschutzmeßtechnik	206
6.7.1	Aufgaben	206
6.7.2	Wartung und Reparatur	207
6.7.3	Routinekalibrierung	209
6.7.4	Amtliche Eichabfertigungsstelle	210
6.8	Arbeiten zur Strahlenschutzmeßtechnik	211
6.8.1	Trennung von Alpha- und Betastrahlung nach dem Pulse-Shape- Verfahren in Proportionalzählrohren	211

	Seite	
6.8.2	Erweiterung der elektrochemischen Ätzanlage für Kernspurdetektoren	211
6.8.3	Anmerkungen zur Messung der Luftaktivitätskonzentration von I-131 und I-132	212
7	Biophysik	218
7.1	Einführung	218
7.2	Sphäroide aus Glioblastomzellen als Modell für die experimentelle Tumor-Strahlentherapie	218
7.2.1	Einleitung	218
7.2.2	Material und Methoden	219
7.2.3	Ergebnisse	220
7.2.4	Diskussion	222
7.3	Differenzierung von Zellen in Sphäroid-Kultur	226
7.3.1	Einleitung	226
7.3.2	Sphäroide aus Ratten-Leberzellen	226
7.3.3	Zelldifferenzierung und ihre experimentelle Erfassung	227
7.3.4	Verbesserung der Meßmethodik für die interzelluläre Kommunikation	228
7.3.4.1	Widerstands- und Kopplungsmessungen an Säugetierzellen	228
7.3.4.2	Messung des Membranwiderstandes	231
7.3.4.3	Messung der Signalkopplung von Zelle zu Zelle	232
7.3.4.4	Auswertung der Meßdaten	232
8	Untersuchungen im Zusammenhang mit dem Reaktorunfall von Tschernobyl	234
8.1	Ergebnisse der von der Abteilung "Radioökologie" ausgeführten Untersuchungen	234
8.1.1	Einleitung	234
8.1.2	Der Verlauf der Ortsdosisleistung	235
8.1.3	Die Radioaktivität der bodennahen Umgebungsluft	236
8.1.4	Künstliche Radioaktivität in der Nahrungskette	241
8.1.4.1	Futtermittel	241
8.1.4.2	Milch	242
8.1.4.3	Verschiedene Lebensmittel	245
8.1.4.4	Dosisexposition durch Ingestion im ersten Jahr nach dem Reaktorunfall	250

	Seite	
8.1.5	Abschätzung der äußeren $\gamma$ -Strahlenexposition für den Zeitraum 1 bis 50 Jahre nach dem Reaktorunfall	253
8.1.6	Dosisabschätzung für den Zeitraum von 1 - 50 Jahre nach dem Reaktorunfall über die Nahrung	253
8.1.7	Gesamte Strahlenexposition durch den Reaktorunfall von Tschernobyl und ihre Bewertung	255
8.2	Ergebnisse der von der Abteilung "Dosimetrie" ausgeführten Inkorporations- messungen	258
8.2.1	Rückreisende aus der UdSSR	258
8.2.2	Privatpersonen aus dem Raum Karlsruhe	262
8.2.3	Karlsruher Referenzgruppe	267
8.3	Arbeiten und Erfahrungen von HS/Ü im Zusammenhang mit dem Reaktorunfall von Tschernobyl	271
8.3.1	Messungen der Aktivitätskonzentration in der Raum- und Fortluft	271
8.3.2	Messungen der Personenkontamination	271
8.3.3	Freigabeverfahren	273
8.3.4	Kontaminationskontrolle an Gepäckstücken	273
8.3.5	Dienstleistung für Institutionen außerhalb der KfK GmbH	273
9	Bibliographie, Beratertätigkeit	274
9.1	Veröffentlichungen 1986	274
9.2	Beratertätigkeit	282



## Table of Contents

	Page	
<b>1</b>	<b>Duties and Organization of the Central Safety Department</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Technical Safety Bureau</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Radiation Protection</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Inspection of Facilities and Operations</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Assistance to Radiological Protection Supervisors</b>	<b>14</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Personnel Monitoring</b>	<b>15</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Results of Personnel Dose Monitoring</b>	<b>16</b>
<b>2.1.5</b>	<b>Conditions for Employment of External Staff Whose Employers Do not Hold Licenses under Sec. 20a of the Radiation Protection Ordinance</b>	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b>Industrial Safety</b>	<b>21</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Inspection of Facilities and Operations</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Work Place Monitoring</b>	<b>23</b>
<b>2.2.3</b>	<b>The Hazardous Substances Ordinance (Gefahrstoffverordnung) and Its Impacts on KfK</b>	<b>25</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Occupational Accidents</b>	<b>28</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Safety-related Information, Training and Standards</b>	<b>31</b>
<b>2.2.6</b>	<b>Industrial Safety Committee</b>	<b>33</b>
<b>2.3</b>	<b>Nuclear Material Safeguards</b>	<b>34</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Legal Basis and Organization of Nuclear Material Safeguards at KfK</b>	<b>34</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Inspections by Euratom and IAEA</b>	<b>35</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Central Accountancy for Nuclear Material Recording and Reporting</b>	<b>36</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Central Accountancy for Recording and Reporting of Other Radioactive Materials</b>	<b>37</b>
<b>2.3.5</b>	<b>Accountancy and Control of Nuclear Materials Transports</b>	<b>39</b>
<b>2.4</b>	<b>Emergency Planing for Incidents and Accidents and Emergency Management</b>	<b>39</b>
<b>2.4.1</b>	<b>The Squad Leader in Charge</b>	<b>39</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Statistics of Interventions by Squad Leader in Charge</b>	<b>41</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Alarm Drills</b>	<b>46</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Updating of Instruments for Interventions</b>	<b>47</b>
<b>2.4.5</b>	<b>Notifiable Events</b>	<b>49</b>

	Page	
2.5	Waste Management	50
2.5.1	Disposal of Non-radioactive Waste	50
2.5.2	Central Accountancy of Waste Treatment	51
2.6	EDP in Administrative Work of the Technical Safety Bureau	53
2.6.1	Regular EDP Services	53
2.6.2	Preparatory Work for Implementation of the New Hardware and Software Concept	57
2.6.3	In-service Inspection	60
2.6.4	The Computer Aided Accountancy System for Nuclear Safeguards at KfK	62
3	Security	66
3.1	Plant Security	66
3.1.1	Plant Security Police	66
3.1.2	Alarm Center	67
3.1.3	Plant Security Centers	68
3.1.4	Goods Inspection	68
3.1.5	Instruction	68
3.1.6	Watch Dogs	69
3.2	Technical Security Systems	69
3.3	Investigation Bureau	70
3.4	Key Service	71
3.5	Traffic Service	71
3.6	Bus Control Service	72
3.7	Personnel and Administrative Security	72
3.7.1	Personnel Security Checks	72
3.7.2	Pass Bureau	72
3.7.3	Reception Bureau	73
3.7.4	Foreign Staff Relations Bureau	73
4	Radiation Protection	76
4.1	Radiation Protection of Work Stations	78
4.1.1	Personal Monitoring by Pocket Ionization Chambers	78
4.1.2	Surface Contamination	78
4.1.3	Air Contamination	78

	Page	
4.1.4	Contamination of Persons	80
4.2	Collective Dose	80
4.3	Radiation Protection at the Cyclotron Laboratory	81
4.4	Radiation Protection Laboratory	85
4.5	Transport of Radioactive Materials	87
4.6	Radiation Protection in the Dismantling of SNEAK	89
4.7	Contamination Monitor for Clothes with Digital Activity Measurement	91
5	Radioecology	94
5.1	Reports about Routine Monitoring	95
5.1.1	Gaseous Effluent Monitoring	95
5.1.1.1	Basic Principles and Bases of Calculation	95
5.1.1.2	Emission Data of 1986	100
5.1.1.3	Calculation of Radiation Exposure in the Environment of KfK for 1986	105
5.1.1.4	Radiation Exposure Forecast on the Basis of the Provisional Gaseous Effluent Plan for 1987	105
5.1.1.5	Measurements of Aerosol Size Distributions for Specific Nuclides in the Vent Air of WAK	106
5.1.1.6	Actinide and Sr Emissions with the Gaseous Effluents of Important Emitters at KfK and WAK	111
5.1.2	Liquid Effluent	112
5.1.2.1	Liquid Effluent Monitoring	112
5.1.2.2	Actinide and Sr Emissions with Chemical Liquid Effluents of KfK	116
5.1.3	Environmental Monitoring	117
5.1.4	Spectrometric Investigations	129
5.1.5	Routine Activities of the Radiochemistry Group	130
5.2	Results of Radioecological Research	131
5.2.1	Tritium Concentrations in Crop Plants from the Main Sectors of Dispersion	131
5.2.2	Modeling the Behavior of Tritium in Plants	133
5.2.3	Radioecological Investigations in the Environment of the Canal through the Lowlands near the Rhine River	134
5.2.4	Behavior of Tritium in the Air-Soil-Plant System	137
5.2.5	Contamination of Precipitations by Atmospheric Tritium Emissions	138

	Page	
5.2.6	Calculation of C-14 and Kr-85 Concentrations in the Air near the Ground during the Dissolution of Spent Fuel Elements in WAK	139
5.2.7	Studies of the Soil-to-Plant Transfer of Np, Pu, Am, and Cm	140
5.2.8	Influence of the Redox Potential in the Soil on the Availability to Plants of Np and Pu	143
5.2.9	Mobility of Various Tc-99 Species in the Soil and their Uptake by Plants	148
5.2.10	Remounting an Experiment on the Mobilization of Heavy Metals by Earthworms	150
5.2.11	Impacts on the Germination Capability of Peas and Summerwheat of Increasing Doses of Se, As, and Ag	155
5.2.12	Radiation Exposure of Trees by the Chernobyl Accident	158
6.	Dosimetry	159
6.1	Dose Measurement for Area and Personnel Monitoring	159
6.1.1	Official Personnel Monitoring	159
6.1.2	Routine Evaluation of Personnel and Area Dosemeters	162
6.1.3	Intercomparison Experiments	164
6.2	Photon Dosimetry	165
6.2.1	Extension of the Toshiba FGD-8 UV Laser Reader for Flat Glass Dosimeters	165
6.2.2	Properties of Phosphate Glass Dosimeters Using Pulsed UV Laser Excitation	166
6.2.3	First Investigations for the Detection of Beta Rays in Phosphate Glasses	169
6.2.4	Response of Several Dose Rate Meters to 6 MeV Photons	170
6.2.5	Detection of Exposure Increase Using Thermoluminescent Dosimeters in Environmental Monitoring	171
6.3	Neutron Dosimetry	173
6.3.1	Energy Dependence of He-3 Proportional Counters in Moderators of Different Diameters	173
6.3.2	Comparison of the Photon-Neutron Response of TLD600/TLD700 Detectors of Different Thicknesses	174
6.3.3	Detection of a Neutron Contribution Using the Glowpeak of TLD600 Detectors	176
6.3.4	Calibration of Albedo Dosimeters in Stray Radiation Fields	177
6.4	Radiation Exposure due to Radon Decay Products	181
6.4.1	Investigation of the Environmental Effect of Radon Emission from the Krunkelbach Uranium Exploration Mine	181

	Page	
6.4.2	Comparison of Personal Radon Dosimeters of the CEA and KfK Types in Routine Operation	183
6.5	Special Investigations	186
6.5.1	Investigation of Thermoluminescent Properties in Natural Minerals	186
6.5.2	Dating of Pleistocene Travertine Samples from the Stuttgart/Bad Cannstatt Quarry	188
6.6	Incorporation Measurements	190
6.6.1	Routine and Special Measurements	190
6.6.2	25 Years of Cs-137 Reference Measurements in the Karlsruhe Body Counter	193
6.6.3	Comparison of Cs-137 Reference Measurements in Various Countries since 1961	196
6.6.4	Correlation between Cs-137 Body Activity and Cs-137 Fallout in the Karlsruhe Area since 1961	198
6.6.5	25 Years of in-vivo Measurements of Transuranium Nuclides at KfK	202
6.7	Radiation Protection Measurement	206
6.7.1	Tasks	206
6.7.2	Maintenance and Repair	207
6.7.3	Routine Calibration	209
6.7.4	Official Calibration Service	210
6.8	Activities in Radiation Protection Measuring Technique	211
6.8.1	Separation of Alpha and Beta Particle Detection Using the Pulse Shape Technique in Proportional Counters	211
6.8.2	Extension of the Electrochemical Etching System for Nuclear Track Detectors	211
6.8.3	Remarks Concerning the Measurement of Air Activity Concentrations of I-131 and Cs-132	212
7	Biophysics	218
7.1	Introductory Remarks	218
7.2	Spheroids of Glioblastoma Cells as a Model for Experimental Tumor Radiotherapy	218
7.2.1	Introduction	218
7.2.2	Materials and Methods	219
7.2.3	Results	220
7.2.4	Discussion	222

	Page	
7.3	Differentiation of Cells in Spheroid Culture	226
7.3.1	Introduction	226
7.3.2	Spheroids of Rat Liver Cells	226
7.3.3	Experimental Approach to Study Cellular Differentiation	227
7.3.4	Improvement of the Method for Measuring Intercellular Communication	228
7.3.4.1	Measurement of Electrical Resistance and Coupling in Mammalian Cells	228
7.3.4.2	Measurement of Membrane Resistance	231
7.3.4.3	Measurement of Cell-to-Cell Signal Coupling	232
7.3.4.4	Evaluation of Data	232
8	Studies Performed in Connection with the Chernobyl Reactor Accident	234
8.1	Results of the Studies Performed by the Radioecology Department	234
8.1.1	Introduction	234
8.1.2	Development of the Local Dose Rate	235
8.1.2	Radioactivity of the Ambient Air Close to the Ground	236
8.1.4	Artificial Radioactivity in the Food Chain	241
8.1.4.1	Animal Feed	241
8.1.4.2	Milk	242
8.1.4.3	Various Food Items	245
8.1.4.4	Exposure Dose Arising from Ingestion in the First Year after the Reactor Accident	250
8.1.5	Assessment of External Gamma-Radiation Exposure for the Period of 1 to 50 Years after the Reactor Accident	253
8.1.6	Assessment for the Period between 1 and 50 Years after the Reactor Accident of the Dose Produced by Food	253
8.1.7	Total Radiation Exposure as a Result of the Chernobyl Reactor Accident and Its Assessment	255
8.2	Results of the Incorporation Measurements Performed by the Dosimetry Department	258
8.2.1	Travelers Returning from the USSR	258
8.2.2	Private Members of the Public in the Karlsruhe Region	262
8.2.3	Karlsruhe Reference Group	267
8.3	Work and Experience of HS/Ü in Connection with the Chernobyl Reactor Accident	271

	Page	
8.3.1	Measurements of Activity Concentrations in the Room Air and the Vent Air	271
8.3.2	Measurements of Personnel Contamination	271
8.3.3	Clearance Procedures	273
8.3.4	Contamination Checks of Luggage Items	273
8.3.5	Services Performed to non-KfK Institutions	273
9	Bibliography, Consulting Activity	274
9.1	Publications in 1986	274
9.2	Consulting Activity	281

## Verzeichnis der Abkürzungen

AbfG	Abfallbeseitigungsgesetz
AbfNachwV	Abfallnachweisverordnung
AKD	Arbeitskreis "Dosismessung externer Strahlung" des Fachverbands für Strahlenschutz e. V.
ANS	American Nuclear Society
ASiG	Arbeitssicherheitsgesetz
AtG	Atomgesetz
AVT	Alarmverstärkungstrupp
AZ	Alarmzentrale
BA	British Airways
BAT	Biologischer Arbeitsstofftoleranzwert
BAU	Hauptabteilung Bauwesen
BAW	Bundesanstalt für gewerbliche Wirtschaft
BB	Betriebsbeauftragter
BETA	Betontiegelschmelzanlage
BFE	Bundesforschungsanstalt für Ernährung
BG	Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften
BGA	Bundesgesundheitsamt
BGBI	Bundesgesetzblatt
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BKA	Bundeskriminalamt
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn
BMI	Bundesministerium des Innern, Bonn
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn
CADCAM	Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing
CAMAC	Computer Application Measurement and Control
CEA	Commissariat de L'Energie Atomique
CRAC	Calculation of Reactor Accident Consequences
DIN	Deutsches Institut für Normung
DRS	Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke
DWD	Deutscher Wetterdienst
DV	Datenverarbeitung
EDV	Elektronische Datenverarbeitung

EG	Europäische Gemeinschaft
EKM	Hauptabteilung Einkauf und Materialwirtschaft
EKM/FK	Hauptabteilung Einkauf und Materialwirtschaft/Fertigungskontrolle
EKM/MW	Hauptabteilung Einkauf und Materialwirtschaft/Materialwirtschaft
EKM/TAB	Hauptabteilung Einkauf und Materialwirtschaft/Auftragsabwicklung und Bewirtschaftung
EKS	Entwicklungsgruppe Kernmaterialsicherung
EM	Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart
ENEA	European Nuclear Energy Agency
ENS	European Nuclear Society
EURATOM	Europäische Atomgemeinschaft
EvD	Einsatzleiter vom Dienst
FID	Filmdosimeter
FIZ	Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik GmbH
FR2	Forschungsreaktor 2
GAA	Gewerbeaufsichtsamt, Karlsruhe
GefahrgutV See	Gefahrgutverordnung See
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GFS	Gemeinsame Forschungsstelle
GGVS	Gefahrgutverordnung Straße
GMBI	Gemeinsames Ministerialblatt
GKN	Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar GmbH, Neckarwestheim
GRS	Gesellschaft für Reaktorsicherheit mbH, Köln
GSF	Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Neuherberg
GSI	Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, Darmstadt
GZ	Ganzkörperzähler
HDB	Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe
HDI	Hauptabteilung Datenverarbeitung und Instrumentierung
HEZA	Heiße Chemie Zellenanlage
HFK	Hand-Fuß-Kleider-Monitor
HPRR	Health Physics Research Reactor
HS	Hauptabteilung Sicherheit
HS/B	Hauptabteilung Sicherheit/Biophysik
HS/D	Hauptabteilung Sicherheit/Dosimetrie

## XVIII

HS/R	Hauptabteilung Sicherheit/Radioökologie
HS/S	Hauptabteilung Sicherheit/Sicherung
HS/TSB	Hauptabteilung Sicherheit/Technisches Sicherheitsbüro
HS/Ü	Hauptabteilung Sicherheit/Strahlenschutzüberwachung
HTR	Hochtemperaturreaktor
IAEA	International Atomic Energy Agency
IAEO	Internationale Atom-Energie-Organisation (amtliche deutsche Übersetzung für IAEA)
IAK	Institut für angewandte Kernphysik
IATA	International Air Transport Association
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IDT	Institut für Datenverarbeitung in der Technik
IEC	International Electrotechnical Commission
IGT	Institut für Genetik und Toxikologie von Spaltstoffen
IHCh	Institut für Heiße Chemie
IHK	Industrie- und Handelskammer
IK	Institut für Kernphysik
IK-III/RTM	Institut für Kernphysik III/Radionuklidtechnik im Maschinenbau
IK-III/Zykl	Institut für Kernphysik III/Zyklotron
IKVT	Institut für Kernverfahrenstechnik
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
IRB	Institut für Reaktorbauelemente
IRCh	Institut für Radiochemie
IRE	Institut für Reaktorentwicklung
IT	Hauptabteilung Ingenieurtechnik
ITO	Interne Transportordnung der Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ITP	Institut für Technische Physik
KAZ	Karlsruher Kompaktzyklotron
KBG	Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft mbH, Leopoldshafen
KFA	Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jülich
KfK	Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe
KGV	Koordinationsstelle Genehmigungsverfahren

KHG	Kerntechnische Hilfsdienst GmbH, Leopoldshafen
KIZ	Karlsruher Isochronzyklotron
KKP	Kernkraftwerk Philippsburg, Philippsburg
KKW	Kernkraftwerk
KNK	Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage
KTB	Hauptabteilung Kerntechnische Betriebe
KTB/BI	Hauptabteilung Kerntechnische Betriebe/Betriebsinstandhaltung
KTB/EA	Hauptabteilung Kerntechnische Betriebe/Experimentieranlage
KTB/FR 2	Hauptabteilung Kerntechnische Betriebe/Forschungsreaktor 2
KTB/HZ	Hauptabteilung Kerntechnische Betriebe/Heiße Zellen
KTB/SNEAK	Kerntechnische Betriebe/Schnelle-Null-Energie-Anordnung Karlsruhe
KWO	Kernkraftwerk Obrigheim GmbH, Obrigheim
KWU	Kraftwerk Union AG, Erlangen
LA	Literaturabteilung
LAF	Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik
LAVA	Lager- und Verdampfungsanlage für hochaktive Flüssigkeiten
LAW	Low Activity Waste
LfU	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
LIT	Laboratorium für Isotopentechnik
LKA	Landeskriminalamt
LLL	Lawrence Livermore Laboratory
LWR	Leichtwasserreaktor
LZ	Lungenzähler
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MARIA	Methods for Assessing the Radiological Impact of Accidents
MAW	Medium Activity Waste
MBZ	Materialbilanzzone
Med	Medizinische Abteilung
Med/Tox	Medizinische Abteilung/Toxikologisches Labor
MPBB	Maximum Permissible Body Burden
MPI	Max-Planck-Institut
MZFR	Mehrzweckforschungsreaktor
NE	Naßentschwefelung
NRPB	National Radiological Protection Board
NSA	Notstromaggregat
NV-Vertrag	Nichtverbreitungsvertrag

NWG	Nachweisgrenze
OBT	Organisch gebundenes Tritium
OKD	Stabsabteilung Organisation und Kaufmännische Datenverarbeitung
OMW	Oberrheinische Mineralölwerke
ORNL	Oak Ridge National Laboratory
OSD	Objektsicherungsdienst
PANAM	Pan American World Airways, Inc.
P/AV	Hauptabteilung Personalwesen und Allgemeine Verwaltung
P/AV/FD	Hauptabteilung Personalwesen und Allgemeine Verwaltung/Fahrdienst
PFT	Projektträgerschaft Fertigungstechnik
PHDR	Projekt Heißdampfreaktor-Sicherheitsprogramm
PL	Photolumineszenz
PLD	Photolumineszenzdosimeter
PNS	Projekt Nukleare Sicherheit
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
PWR	Pressurized Water Reactor
RöV	Röntgenverordnung
RP	Regierungspräsidium, Karlsruhe
RVO	Reichsversicherungsordnung
SKT	Schule für Kerntechnik
SM	Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung Baden-Württemberg, Stuttgart
SNEAK	Schnelle-Null-Energie-Anordnung Karlsruhe
SSB	Strahlenschutzbeauftragter
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
StVIS/RöV	Stellvertretender Verantwortlicher für den Strahlenschutz nach Röntgenverordnung
SUA	Siemens-Unterrichts-Anordnung
SUR	Siemens-Unterrichts-Reaktor
TAMARA	Testanlage zur Müllverbrennung, Abgasreinigung, Rückstandsverwertung und Abwasserbehandlung
TEKO	Technikumshalle zur Komponentenerprobung
TIK	Taschenionisationskammer
TL	Thermolumineszenz
TLD	Thermolumineszenzdosimeter
TOSKA	Toroidale Spulentestanlage Karlsruhe

<b>TRIGA</b>	Training, Research and Isotope Production Reactor der General Atomic
<b>TRGS</b>	Technische Regeln für Gefahrstoffe
<b>TRK</b>	Technische Richtkonzentration
<b>TU</b>	Europäisches Institut für Transurane
<b>TÜV</b>	Technischer Überwachungs-Verein e. V.
<b>UFOMOD</b>	Unfallfolgenmodell
<b>UNSCEAR</b>	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
<b>UVV</b>	Unfallverhütungsvorschriften
<b>US-DOE</b>	US-Department of Energy
<b>VAK</b>	Versuchsatomkraftwerk Kahl
<b>VBG</b>	Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften
<b>VBW</b>	Hauptabteilung Versorgungsbetriebe und Werkstätten
<b>VBW/BW</b>	Hauptabteilung Versorgungsbetriebe und Werkstätten/Betriebswerkstätten und Montage
<b>VBW/E</b>	Hauptabteilung Versorgungsbetriebe und Werkstätten/Stromversorgung, Elektro- und Fernmeldeanlagen
<b>VBW/HW</b>	Hauptabteilung Versorgungsbetriebe und Werkstätten/Hauptwerkstatt
<b>VBW/VB</b>	Hauptabteilung Versorgungsbetriebe und Werkstätten/Versorgungs- und Hilfsbetriebe
<b>VBW/VB-Bh</b>	Hauptabteilung Versorgungsbetriebe und Werkstätten/Versorgungs- und Hilfsbetriebe - Bauhof
<b>VBW/VB-Fw</b>	Hauptabteilung Versorgungsbetriebe und Werkstätten/Versorgungs- und Hilfsbetriebe - Feuerwehr
<b>VBW/VB-Wä</b>	Hauptabteilung Versorgungsbetriebe und Werkstätten/Versorgungs- und Hilfsbetriebe - Wäscherei
<b>VDE</b>	Verband Deutscher Elektrotechniker
<b>VIS/RöV</b>	Verantwortlicher für den Strahlenschutz nach Röntgenverordnung
<b>VGB</b>	Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e. V., Essen
<b>WAK</b>	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Betriebsgesellschaft mbH, Eggenstein-Leopoldshafen
<b>WL</b>	Working Level
<b>WWA</b>	Wasserwirtschaftsamt, Karlsruhe
<b>ZGK</b>	Zentrale Güterkontrolle

## 1 Aufgabengebiet und Organisation der Hauptabteilung Sicherheit

H. Kiefer, M. Urban

Die Hauptabteilung Sicherheit (Leitung Prof. Dr. H. Kiefer) ist für die Gewährleistung des Strahlenschutzes und der technischen Sicherheit auf konventionellem und nuklearem Gebiet sowie für den Objektschutz und die Sicherung der Kernmaterialien und radioaktiven Stoffe zuständig. Prof. Dr. H. Kiefer ist gleichzeitig als Sicherheitsbeauftragter und als Sicherungsbeauftragter der KfK GmbH bestellt.

Die Aufgabenstellung der Hauptabteilung Sicherheit umfaßt sowohl die Strahlenschutz-, Sicherheits- und Sicherungsaufgaben für die Institute und Abteilungen des KfK sowie die Abwasser- und Umgebungsüberwachung für das gesamte Kernforschungszentrum Karlsruhe als auch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die u. a. im Rahmen des Projekts Kernfusion oder als von Stellen außerhalb der KfK GmbH geförderte Forschungsvorhaben durchgeführt werden. Schwerpunkte der F + E-Arbeiten sind: Untersuchungen des physikalischen und chemischen Verhaltens biologisch besonders wirksamer Radionuklide und inaktive Schwermetalle in der Umwelt, der mikrobiologischen Einflüsse auf die Mobilität und Bioverfügbarkeit von Radionukliden in Böden und Sedimenten, der Biophysik multizellulärer Systeme sowie Verbesserungen in der Strahlenschutzmeßtechnik.

Am 31.12.1986 waren in der Hauptabteilung Sicherheit 32 Akademiker, 42 Ingenieure, 256 sonstige Mitarbeiter, 6 Gastwissenschaftler, 3 Doktoranden, 19 Mitarbeiter zur Ausbildung als Strahlenschutzingenieure sowie 3 Praktikanten beschäftigt.

### "Radioökologie"

Die Abteilung Radioökologie ist zuständig für die Emissions- und Immissionsüberwachung des Kernforschungszentrums Karlsruhe (Messung bzw. Erfassung der radioaktiven Emissionen, Überwachung der Umgebungsexposition) und die experimentelle Untersuchung radioökologischer Auswirkungen dieser Emissionen. Im Auftrag werden solche Messungen auch für andere kerntechnische Anlagen durchgeführt. Die Umgebung des Kernforschungszentrums wird durch  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlungs- und zusätzliche Aktivitätsmessungen überwacht. Die  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung wird mit Hilfe von Zählrohrstationen und Festkörperdosimetern auf dem Betriebsgelände und in der Umgebung gemessen. Zur Bestimmung des Radioaktivitätsgehaltes in Luft, Wasser, Boden, Schlamm, Fisch und landwirtschaftlichen Produkten werden regelmäßig Proben aus der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe untersucht. Radionuklid- und Elementbestimmungen werden mit physikalischen und chemischen Meßmethoden durchgeführt.

Die Abluft-, Abwasser- und Umgebungsüberwachung sowie die laufenden Forschungsarbeiten werden durch Radionuklidbestimmungen und chemische Bestimmungen unterstützt. Parallel zu den Routineaufgaben laufen verschiedene Forschungsprogramme, die sich insbesondere mit dem Boden-Pflanzen-Transfer sowie mit dem Verhalten von Tritium in der Umwelt befassen. Diese Programme sind teilweise in innerhalb des Kernforschungszentrums laufende Projekte eingebunden bzw. vom Bundesministerium des Innern gefördert.

## "Dosimetrie"

Die Abteilung Dosimetrie ist zuständig für die Auswahl und Anwendung dosimetrischer Meßverfahren und für die Durchführung von Inkorporations-Direktmessungen. Weitere Aufgaben sind die Betreuung und routinemäßige Wartung aller bei der KfK GmbH eingesetzten Strahlenschutzmeßgeräte sowie deren Kalibrierung. Ein Schwerpunkt der Abteilung Dosimetrie ist die Bereitstellung, Erprobung und Anwendung neuer Strahlenschutzmeßverfahren mit dem besonderen Gewicht auf der Neutronendosimetrie, der Messung geringer Dosen sowie der Messung geringer Nukliddepositionen im Körper.

Der Aufgabenbereich "Routineüberwachung" umfaßt die Auswertung von Thermolumineszenz- und Phosphatglasdosimetern sowie von Albedodosimetern zur Ermittlung der Personendosis von Mitarbeitern im Kernforschungszentrum. Eingeschlossen sind Dosismessungen mit Festkörperdosimetern in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Im Jahr 1986 wurde die für die Personenüberwachung externer Stellen in Baden-Württemberg eingerichtete amtliche Meßstelle für Festkörperdosimeter offiziell eine selbständige nach Landesrecht zuständige Meßstelle zur Messung der Personendosis nach § 63 StrlSchV und § 40 RöV. Als amtliche Personendosimeter ausgegeben und ausgewertet werden Phosphatglasdosimeter, Thermolumineszenz-Fingerringdosimeter und ab Ende 1986 Albedoneutronendosimeter. Außerdem werden ein Ganzkörperzähler sowie zwei spezielle Lungenzähler zur routinemäßigen Inkorporationskontrolle aller Mitarbeiter des Kernforschungszentrums, die mit offenen radioaktiven Stoffen umgehen, eingesetzt. Darüber hinaus werden sofortige Inkorporationsmessungen nach allen Zwischenfällen mit Inkorporationsverdacht durchgeführt.

Der Aufgabenbereich "Strahlenmeßgeräte" betreut alle bei der KfK eingesetzten Strahlenschutzmeßgeräte durch regelmäßige elektronische Wartung, Reparatur und Kalibrierung der tragbaren Dosisleistungsmeßgeräte, aller Hand- und Fußkontaminationsmonitoren sowie der ortsfesten Meßstellen zur Pegel- und Abluftüberwachung. Weitere Aufgaben sind die Eingangskontrolle neu angeschaffter Geräte, der Test von neu auf dem Markt angebotenen Meßgeräten sowie der Betrieb von Bestrahlungsanlagen zur routinemäßigen Kalibrierung von Festkörperdosimetriesystemen und allen Arten von Dosis- und Dosisleistungsmeßgeräten für den Strahlenschutz. Die Anlagen werden von der amtlichen Eichabfertigungsstelle des Landes Baden-Württemberg auch zur Eichung von Personen- und Ortsdosimetern eingesetzt. Die Einhaltung der Meßgenauigkeit wird durch regelmäßige Teilnahme an verschiedenen nationalen und internationalen Kontrollbestrahlungen gewährleistet.

Im Aufgabenbereich "Dosimetrische Untersuchungen" werden neuere Meßverfahren weiterentwickelt und für eine Routineanwendung bereitgestellt. Schwerpunkt der Entwicklungsarbeiten sind Meßverfahren für Neutronenstreustrahlungsfelder, die Weiterentwicklung und Anwendung von Kernspurätzdetektoren sowie die Messung kleiner Dosen im Bereich des natürlichen Strahlenpegels. Zusammen mit anderen amtlichen Meßstellen wurde ein im KfK entwickeltes Albedoneutronendosimeter erprobt, welches Ende 1986 vom Länderausschuß für Atomkernenergie als amtliches Personendosimeter anerkannt wurde. Weitere vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderte Forschungsvorhaben betreffen die Ausmessung des Photonen-Neutronenstreustrahlungsfeldes in einem Leichtwasserreaktor und die Entwicklung eines Neutronen-Äquivalentdosisleistungsmessers nach dem Einkugelmeßverfahren, das auch zur Kalibrierung von Albedoneutronendosimetern eingesetzt werden kann.

Im Bereich der Inkorporationsmessung sollen neue Methoden zum Nachweis von Radionukliden, die mit herkömmlichen Ganz- oder Teilkörperzählern nur schwer nachweisbar sind, bereitgestellt werden. Im Vordergrund steht dabei der Nachweis von Nukliden mit hoher Radiotoxizität wie z. B. Radium, Uran, Plutonium, Americium und Curium. Eine weitere Aufgabe besteht in der Bereitstellung von hochempfindlichen spektroskopischen Meßverfahren für sonstige Anwendungen.

## "Biophysik"

Zu den Aufgaben der Abteilung HS/Biophysik (HS/B) gehört die experimentelle Bearbeitung von Fragestellungen des Strahlenschutzes, der medizinischen Strahlenanwendung und angrenzender Gebiete. Hier besteht eine Erkenntnislücke zwischen der praktisch nur schwer umsetzbaren Grundlagenforschung einerseits und den aus tierexperimentellen und epidemiologischen Untersuchungen resultierenden Erfahrungen andererseits. Durch den Einsatz fortgeschrittener Gewebekulturverfahren und die Anwendung moderner zellbiophysikalischer Methoden soll ein Beitrag zur Schließung dieser Lücke gewährleistet werden. Entsprechend dieser Zielsetzung besitzt die Abteilung drei Arbeitsschwerpunkte:

### - Radiologie

Wie die strahlengenetische Forschung in den letzten Jahrzehnten gezeigt hat, steht am Anfang einer Strahlenschädigung eine Veränderung (Mutation) an der DNA. Zwischen dem genetischen Defekt und der Manifestation des Schadens läuft jedoch eine Vielzahl weitgehend unerforschter Prozesse ab, welche die Ausprägung des Schadens (z. B. eines Tumors) ganz entscheidend beeinflussen und verändern. Einer dieser Prozesse ist die direkte interzelluläre Kommunikation über die sogenannten "Gap Junctions". Es mehren sich die Hinweise, daß dieses Phänomen nicht nur bei der embryonalen Entwicklung und Differenzierung eine fundamentale Rolle spielt, sondern auch bei der Cancerogenese und Teratogenese. Im Rahmen des Arbeitsbereiches "Radiologie" sollen diese epigenetischen Faktoren der Strahlenwirkung, wie interzelluläre Kommunikation, gewebespezifische Zell-Organisation und -Physiologie und ihre Implikationen für den Strahlenschutz und die medizinische Strahlenanwendung (Tumorthherapie) untersucht werden. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auch auf die wechselseitige Beeinflussung von strahlenbedingter und chemischer Wirkung gerichtet.

### - Gewebetechnologie

Zur Bearbeitung dieser Fragestellungen eignen sich in besonderem Maße fortgeschrittene Gewebekultursysteme wie das der multizellulären Sphäroide. Hierbei nehmen die Zellen ihre natürliche räumliche Organisation an und entfalten ihr volles Differenzierungspotential. In diesem System, das in seinem Komplexitätsgrad zwischen dem lebenden Organismus und konventionellen Suspension- bzw. Einschichtkulturen liegt, vereinigen sich außerdem die Vorzüge eines In-vitro-Systems mit der Spezifität des Ursprungsgewebes. Im Rahmen dieses Arbeitsgebietes sollen die Methoden zur Gewinnung, Kultur und Analytik der Sphäroide weiterentwickelt werden. Auch Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Einsatz von Aggregations- und Sphäroid-Kulturen zur Einsparung von Tierversuchen werden hier bearbeitet.

- Physikalische Biochemie

Innerhalb dieses Arbeitsschwerpunktes werden biochemische und biophysikalische Mechanismen untersucht, die für die spezifischen zellulären Eigenschaften des Sphäroidsystems verantwortlich sind. Dabei werden, neben den üblichen biochemischen Methoden, zell-biophysikalische Meßtechniken eingesetzt wie Mikroelektrode-technik (zur Messung der elektrischen Membraneigenschaften von Zellen), Flußzytometrie (zur Quantifizierung von Zellinhaltsstoffen, intrazellulären biochemischen Umsetzungen und Oberflächenmarkern) und Bildanalyse-Verfahren (zur automatischen Erfassung von morphologischen Veränderungen).

"Technisches Sicherheitsbüro"

Die Abteilung Technisches Sicherheitsbüro hat beratende, kontrollierende und administrativ steuernde Funktionen auf allen Gebieten des Strahlenschutzes und des Arbeitsschutzes. Sie überprüft die Einhaltung angeordneter Maßnahmen zur Erfüllung gesetzlicher Pflichten, behördlicher Auflagen und sonstiger Vorschriften zur technischen Sicherheit im Kernforschungszentrum Karlsruhe. Zu ihren Aufgaben gehören die zentrale Erfassung und Dokumentation sicherheitsrelevanter Daten, Fakten und Vorgänge.

Die Gruppe "Strahlenschutz" unterstützt die Strahlenschutzbeauftragten und den praktischen Strahlenschutz durch Information, Beratung und Behördenkontakte. Sie überprüft die Einhaltung der Strahlenschutz- und der Röntgenverordnung sowie behördlicher Auflagen, führt EDV-gestützte Dateien mit den Meßdaten der beruflich strahlenexponierten Personen und verfolgt Termine.

Die Gruppe "Arbeitsschutz" wird auf allen Gebieten der konventionellen Sicherheit am Arbeitsplatz kontrollierend, beratend und aufklärend tätig und fördert so das Sicherheitsbewußtsein. Sie erledigt Meldung, Berichterstattung und Registrierung von Arbeitsunfällen, ordnet vorsorgliche Maßnahmen an und bestellt sicherheitsbeauftragte Personen. Sie berät in allen Fragen der ordnungsgemäßen Beseitigung inaktiver Abfälle.

Der Gruppe "Kernmaterialüberwachung" obliegt die zentrale Buchhaltung für die KfK GmbH zur Erfassung, Überwachung und Meldung von Kernmaterial und sonstigen radioaktiven Stoffen und die Vorbereitung und Betreuung der Inspektionen durch internationale Behörden.

Die Gruppe "Einsatzplanung und Einsatzleitung" stellt den Einsatzleiter vom Dienst (EvD) für die Sicherheitsorganisation der KfK GmbH, sie aktualisiert und erarbeitet Einsatzunterlagen, organisiert Alarmübungen der Einsatztrupps, erstattet Einsatzberichte bei Störfällen und Unfällen und meldet sicherheitstechnisch bedeutsame Ereignisse den Aufsichtsbehörden.

"Sicherung"

Der Abteilung Sicherung obliegt mit ihren Gruppen "Objektsicherungsdienst", "Sicherungstechnik und Ermittlungsdienst" sowie "Personelle und administrative Sicherungsfragen" die Gewährleistung der Basisicherung für das gesamte Kernforschungszentrum.

Der "Objektsicherungsdienst" ist für die Sicherung des Kernforschungszentrums Karlsruhe verantwortlich. Zu den Aufgaben gehört die Sicherung des Gesamtareals durch Streifen- und Überwachungsdienst und die Zugangskontrolle an den Haupttoren. Er wirkt bei den Sicherungsmaßnahmen für einzelne Anlagen in Abstimmung mit dem Betreiber mit und sorgt für die Einhaltung spezieller Zutrittsregelungen. Der Objektsicherungsdienst übt die Kontrolle aller zur Ein- oder Ausfuhr bestimmten Güter aus, er plant und kontrolliert das Schließwesen und ist für den ordnungsgemäßen Ablauf des Straßenverkehrs im Bereich des Kernforschungszentrums Karlsruhe zuständig.

Die Gruppe "Sicherungstechnik und Ermittlungsdienst" ist mitverantwortlich für Auswahl, Einsatz und Funktionssicherheit der technischen Sicherungssysteme. Das Hinwirken auf einheitliche Standards in dieser Technik und ihre Anschlußsicherheit hinsichtlich der Anschaltung auf die Alarmzentrale sind weitere Aufgaben. Mit Hilfe des Ermittlungsdienstes werden die Einhaltung der Ordnungs- und Kontrollbestimmungen des Kernforschungszentrums, die Aufklärung von Schadensfällen mannigfaltiger Art sowie die Sicherung von Regreßansprüchen betrieben.

Die Gruppe "Personelle und administrative Sicherungsfragen" ist für die Ausstellung von Zutrittsberechtigungen nach aufsichtsbehördlichen Auflagen verantwortlich. Dieser Gruppe untersteht auch der Betrieb des Ausweisbüros.

#### "Strahlenschutzüberwachung"

Die Abteilung Strahlenschutzüberwachung ist vor allem für den Schutz der mit radioaktiven Stoffen umgehenden oder ionisierender Strahlung ausgesetzten Personen der Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH zuständig. Aus dieser Aufgabenstellung heraus sind die Mitarbeiter dezentral in den einzelnen Organisationseinheiten des Kernforschungszentrums tätig. Die Mitarbeiter der Strahlenschutzüberwachung unterstützen die Strahlenschutzbeauftragten in der Wahrnehmung ihrer Aufgaben nach der Strahlenschutzverordnung. Sie sind die Ansprechpartner für die jeweiligen Instituts- oder Abteilungsangehörigen und achten auf strahlenschutzgerechtes Verhalten.

Die Abteilung Strahlenschutzüberwachung übernimmt die tägliche Auswertung der Stabdosisimeter und die Registrierung der erhaltenen Personendosis. Monatlich werden die amtlichen Filmdosisimeter, die internen Thermolumineszenzdosisimeter sowie nach Bedarf Teilkörper- oder Neutronendosisimeter ausgegeben. In den Gebäuden und Anlagen werden nach vorgegebenem Plan routinemäßig Kontaminations- und Dosisleistungsmessungen durchgeführt und die Aktivitätskonzentration in der Raumluft der Arbeitsräume überwacht. Bei erhöhten Raumluftaktivitäten werden zu ergreifende Schutzmaßnahmen empfohlen. Die Strahlenschutzmitarbeiter veranlassen bei Personenkontaminationen die Durchführung der Dekontamination.

Die Mitarbeiter der Strahlenschutzüberwachung überwachen den Materialtransport aus den Kontrollbereichen in den betrieblichen Überwachungsbereich des Kernforschungszentrums und aus dem Gelände des Kernforschungszentrums hinaus. Sie ermitteln, ob die von den Verordnungen vorgegebenen Grenzwerte für die Oberflächenkontamination oder Aktivität von Gegenständen eingehalten sind. Sie erteilen gegebenenfalls die Freigabe zur Wiederverwendung oder zur Beseitigung von Materialien.

## 1 Duties and Organization of the Central Safety Department

H. Kiefer, M. Urban

The Central Safety Department headed by Prof. Dr. Hans Kiefer is responsible for ensuring radiation protection and nuclear safety, both in the conventional and the nuclear fields, for security and surveillance of nuclear materials and radioactive substances. Prof. Dr. H. Kiefer at the same time is Safety Officer and Security Officer of the Karlsruhe Nuclear Research Center (Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH (KfK)).

The Central Safety Department is responsible for handling all problems of radiation protection, safety and security of the institutes and departments of the KfK GmbH, for waste water activity measurements and environmental monitoring of the whole area of the Center, and for research and development work mainly focusing on nuclear safety and radiation protection measures. The R&D work concentrates on the following aspects: physical and chemical behavior of biologically particularly active radionuclides, behavior of HT in the air/plant/soil system, biophysics of multicellular systems, improvement in radiation protection measurement and personnel dosimetry.

On December 31, 1986, the Central Safety Department employed 32 graduate staff members, 42 engineers and 256 other staff members, 6 foreign guest scientists, 3 candidates for doctor's degree, 19 staff members undergoing training as radiation protection engineers and 3 probationers.

### "Radioecology"

The Radioecology Department is responsible for measuring and recording, respectively, the radioactive emissions from the Karlsruhe Nuclear Research Center and for monitoring environmental burdens and experimentally investigating the radiological impacts of such emissions. Measurements of this type are also carried out on behalf of other nuclear facilities. The environment of the Center is monitored by  $\beta$ - and  $\gamma$ -radiation measurements and by activity measurements of various samples.  $\beta$ - and  $\gamma$ -radiation is measured on the plant site and in its environment by means of counter tube stations and solid state dosimeters. Samples are taken regularly in the environment of the Karlsruhe Nuclear Research Center to determine the radioactivity contents of air, water, soil, sludge, fish and agricultural products. Physical and chemical methods are applied in the determination of radionuclides and other elements.

Monitoring of gaseous and liquid effluents, environmental surveillance as well as research programs in work are supported by staff trained in analytical chemistry and radiochemistry and spectrometry. In connection with the routine tasks the Radioecology Department carries out several research programs mainly focusing on soil-to-plant transfer effects and the environmental behavior of tritium. These research programs are part of the R&D projects of the Karlsruhe Nuclear Research Center or funded by the Federal Ministry of the Interior.

## "Dosimetry"

The Dosimetry Department is responsible for selecting and applying dosimetry techniques for measurement and also for carrying out direct incorporation measurements. Other activities relate to the operation and routine maintenance of all radiation protection measuring equipment used at KfK and the calibration of these systems. A major activity of the Dosimetry Department is to provide, to test and to apply new radiation protection techniques, special attention being paid to neutron dosimetry, low dose measurements, and measurements of minor nuclide deposits in the body.

The field of activity "Routine Monitoring" concerns the evaluation of thermoluminescent and phosphate glass dosimeters as well as albedo dosimeters for determining the personnel doses of all staff members of the Karlsruhe Nuclear Research Center. This includes dose measurements conducted by means of solid state dosimeters in the environment of nuclear facilities. In 1986 the official "Monitoring Service for Solid State Dosimeters" for the purpose of external personnel monitoring in Baden-Württemberg was officially established as an independent governmental monitoring service under country law for the measurement of personnel doses according to § 63 StrlSchV and § 40 RöV. The service distributes and evaluates official phosphate glass dosimeters, thermoluminescent finger ring dosimeters and since the end of 1986 albedo neutron dosimeters. Besides, a whole body counter and two special lung counters are operated for routine and special incorporation monitoring of all staff members handling unsealed radioactive substance.

The group "Radiation Protection Measurement Devices" manages all radiation protection instruments in the market, and the operation of irradiation facilities for routine calibration of solid state dosimeter systems and any kind of dosimeters and dose rate meters used for radiation protection. The facilities are also used by the Office of Weights and Measures of Baden-Württemberg for the official calibration of personal and area dosimeters. The over-all measuring accuracy is guaranteed by regular participation in the different national and international control irradiations.

In the field of activity "Dosimetric Investigations" new measuring methods are improved and provided for routine application. Special attention is devoted to development activities in neutron dosimetry, especially the application of albedo measuring techniques in stray neutron fields, the application and advancement of track etching techniques, and the measurement of low doses in the region of the natural background radiation level. In cooperation with other governmental services an albedo neutron dosimeter developed at KfK has been tested, which at the end of 1986 was introduced as official personal dosimeter by the Länderausschuß für Atomkernenergie. Additional research programs funded by the BMU are concerned with the measurement of scattered photon/neutron fields in a light water reactor and the development of a neutron dose equivalent rate meter based on the single sphere technique which can be used also for the calibration of albedo neutron dosimeters.

With respect to incorporation monitoring new methods are provided for the measurement of radioactive materials which are difficult or impossible to detect using conventional whole or partial body counters. This work focuses on high radiotoxic nuclides such as radium, uranium, plutonium, americium and curium. In addition high sensitive spectroscopic techniques are provided for other applications.

## "Biophysics"

The Biophysics Department is engaged in experimental work related to problems of biological radio-protection, medical applications of radiation, and adjacent fields. Using advanced tissue culture technology and modern cell-biophysical methods, contributions are being made to fill the gap of knowledge between fundamental radiobiological research (whose results are poorly applicable to most practical situations), and experiences resulting from epidemiological studies or animal experiments. According to this aim, interest is focused on three main fields of research:

### - Radiology

Research in Radiation Genetics during the past decades has shown that biological radiation damage is initiated by alterations in DNA (mutations). Between this genetic defect and the manifestation of damage, however, a large number of intermediate and largely unknown processes take place which may significantly influence and even modify the final expression of damage (e. g. a tumor). One of these processes is the direct cell-to-cell communication via the so-called "Gap Junctions." There is increasing evidence that this phenomenon plays a fundamental role not only in embryonic development and differentiation but also in cancerogenesis and teratogenesis. Within the research field "Radiology," emphasis is put on the study of epigenetic factors such as intercellular communication, tissue-specific cell organization and-physiology, as well as on their implications for radioprotection and medical radiation application (tumor therapy). Particular attention will be paid to potential synergistic effects between radiation and chemical substances.

### - Tissue technology

For these studies, advanced tissue culture systems like the multicellular spheroids are particularly well suited. In spheroids, the cells retain their natural arrangement and preserve their full potential of differentiation. With respect to biological complexity, the spheroid system provides a link between conventional suspension- of monolayer cultures and the living organism. In addition, it combines the advantages of an in vitro system with the specificity of the original tissue. It is attempted to improve the methods for the formation, culture, and analysis of spheroids. Furthermore, problems referring to the potential substitution of experiments on animals by the use of spheroids and re-aggregation cultures will be investigated.

### - Physical biochemistry

Work in this field aims at elucidating the biochemical and biophysical mechanisms responsible for the specific cellular properties of spheroids. In addition to the usual biochemical methods, cell-biophysical techniques will be applied such as micro-electrode techniques (to measure electrical membrane properties of cells), flow-cytometry (quantitation of intracellular substances, biochemical reactions, and surface marks), and image processing (for automated detection of morphological alterations).

## "Technical Safety Bureau"

The Technical Safety Bureau Department has consulting, monitoring and administrative control functions in all fields of radiation protection and industrial safety. It verifies the observance of measures prescribed in legal obligations, of requirements imposed by the authorities, and of other rules and regulations pertaining to technical safety at the Karlsruhe Nuclear Research Center. Its duties include the centralized collection and documentation of safety related data, facts and events.

The Radiation Protection Group supports the activities of the Radiation Protection Officers and practical radiation protection efforts by offering information and consultancy and through contacts with public authorities. It makes sure that the Radiation Protection Ordinance and X-ray Ordinance and all conditions imposed by the authorities are observed, keeps computerized data files with the personal readings of persons occupationally exposed to radiation, and is also responsible for controlling time schedules.

The Industrial Safety Group is active in all matters pertaining to conventional safety at work as a controlling, consulting and training group and thus promotes the safety consciousness. It is responsible for accepting reports, for reporting and registration about accidents at work, for ordering precautionary measures to be taken and for nominating persons responsible for safety. It gives advice in all matters related to the proper disposal of inactive wastes.

The Nuclear Material Safeguards Group is responsible for central accountancy for KfK GmbH, in order to record, monitor and report nuclear material and other radioactive substances, and for preparatory and administrative work in the context of inspections by international agencies.

The Emergency Planning and Management Group provides the squad leader in charge for the organization of safety at the Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH. The group prepares and updates intervention documents, organizes alarm exercises for the task forces, writes reports about interventions in incidents and accidents, and reports events which are relevant in terms of safety to the supervisory authorities.

## "Security"

The Security Department with its groups responsible for Physical Security Service, Technical Security and Investigation Service and Personnel and Administrative Security ensures basic security throughout the Nuclear Research Center.

The Physical Security Service is responsible for security within the Nuclear Research Center. Its activities include the protection of the whole site by patrol and surveillance services and guards protecting access at the main gates. The Service also cooperates in devising security measures for individual facilities together with the operators and ensures that special access rules are observed.

The Technical Security and Investigation Service is also responsible for selecting, using and ensuring the functional reliability of technical security systems. Also the generation of uniform standards in this technology and the safe installation and connection to the Alarm Center of those systems are responsibilities of these services. The Investigation Service ensures observation of the regulations and control provisions of the Karlsruhe Nuclear Research Center, investigates many kinds of damage, and protects legal claims.

The Personnel and Administrative Security Group is responsible for granting access permits in the light of conditions imposed by the supervisory authorities. It is also charged with clarifying all questions connected with potential hazards to the Nuclear Research Center arising from persons. The same group runs the bureau issuing permits.

#### "Radiation Protection Monitoring"

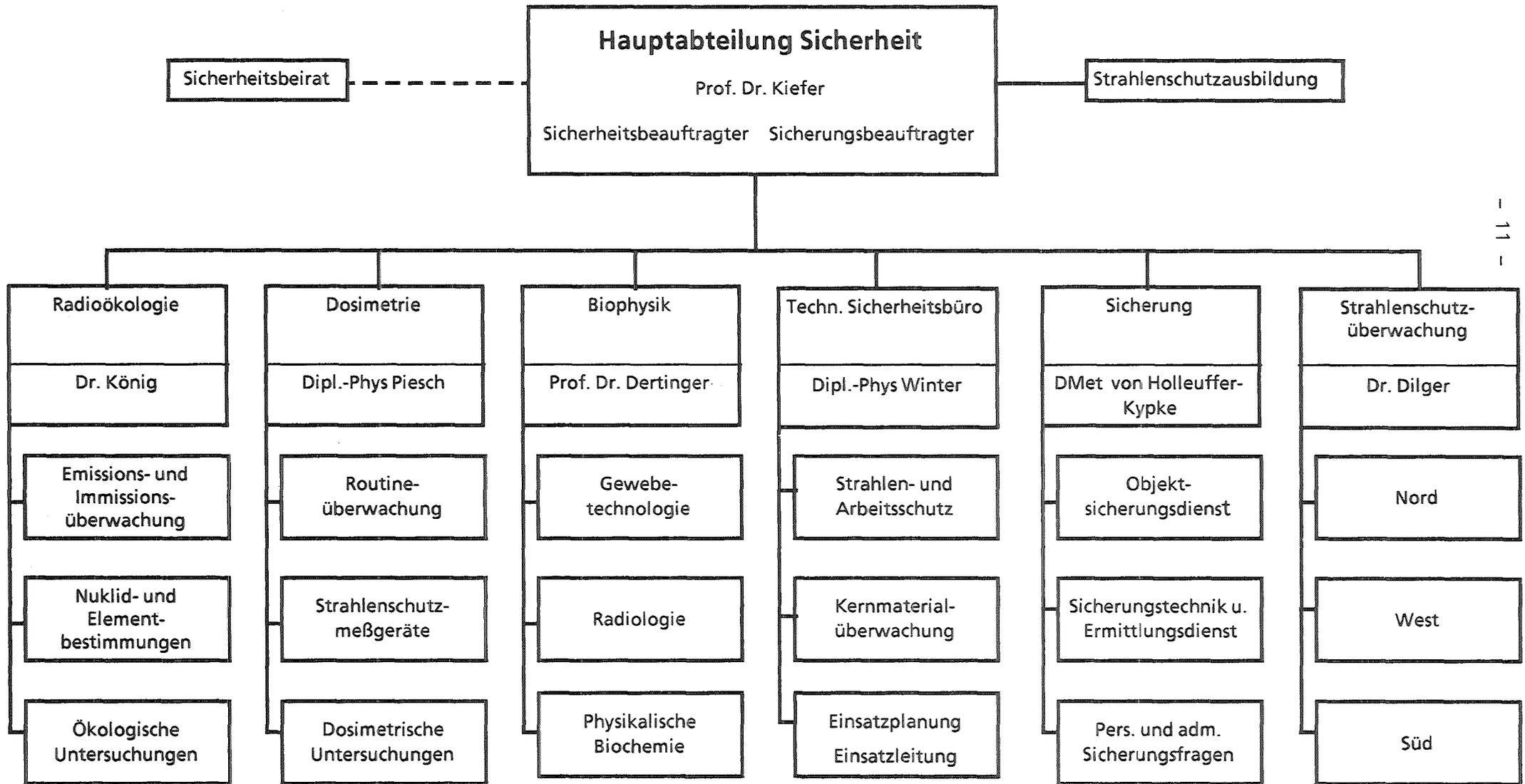
The Radiation Protection Monitoring Department is mainly responsible for protection of the personnel of the Karlsruhe Nuclear Research Center handling radioactive substances or exposed to ionizing radiation. As a result of these duties, the members of this Department work in a decentralized system in the different administrative units of the Nuclear Research Center. The staff members of Radiation Protection Monitoring support the Radiation Protection Officers in each subunit in discharging their duties under the Radiation Protection Ordinance. They are the persons to be contracted by members of the respective institutes or departments, ensuring behavior in conformity with radiation protection criteria.

The Radiation Protection monitoring Department carries out the daily evaluation of pen dosimeters and records the personnel doses received. The official film dosimeters and thermoluminescence dosimeters are issued monthly just as partial body dosimeters or neutron dosimeters if required. Routine contamination and dose rate measurements are performed in accordance with a plan in buildings and facilities. Staff members in radiation protection organize decontamination procedures in cases of contamination of persons. Moreover, radioactivity concentrations in the air of working rooms are monitored. If these airborne radioactivity levels in rooms are too high, protective measures are recommended.

Material transports from controlled areas into the supervised area of the Nuclear Research Center and out of the Nuclear Research Center are monitored. Staff members evaluate if limits of the ordinances for surface contamination or radioactivity of subjects are not exceeded. They give the allowance for reuse or for final disposal of materials.

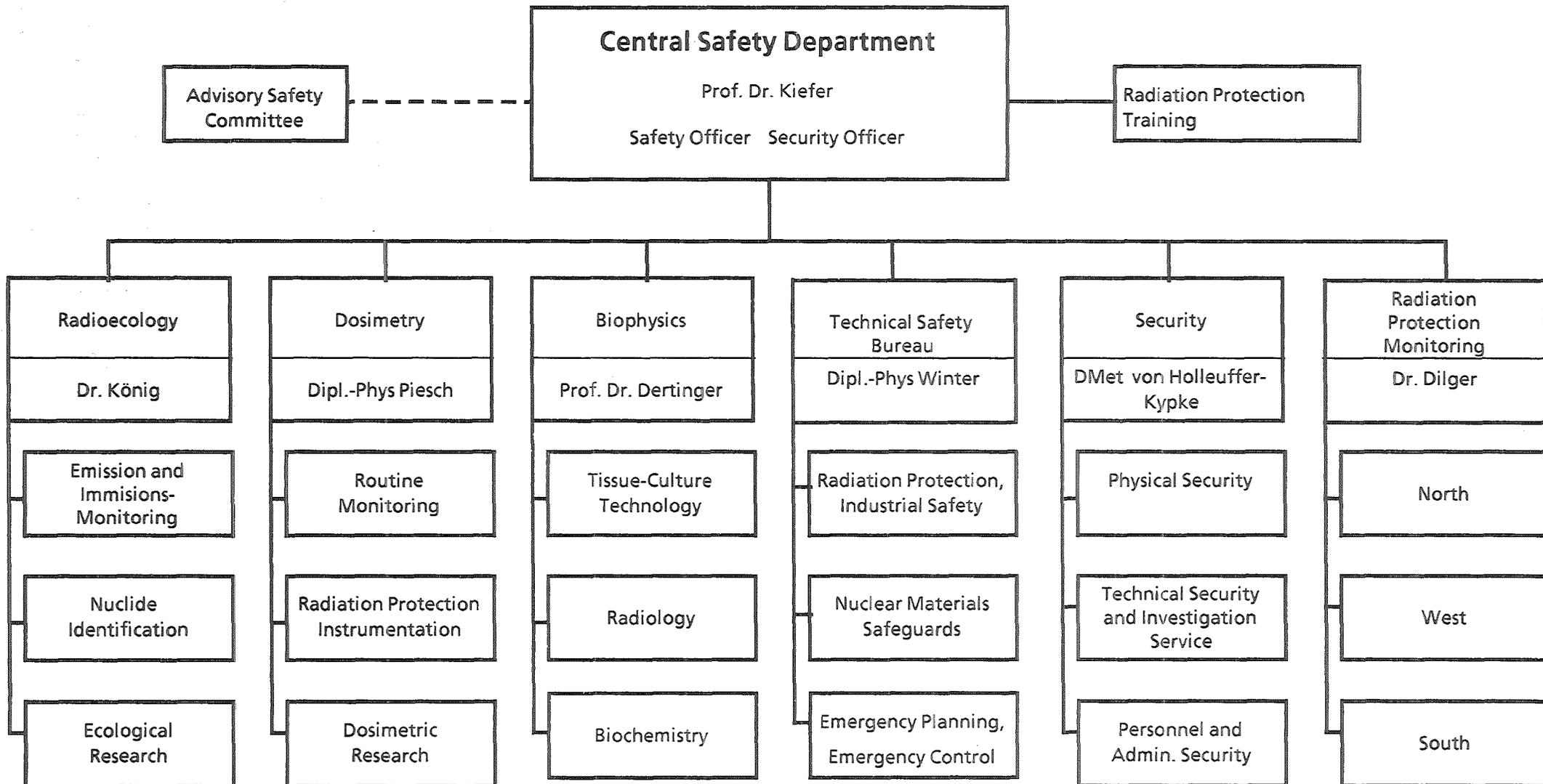
# Organisationsplan HS

Stand: 31.12.1986



# Organisationsplan HS

Stand: 31.12.1986



2 Technisches Sicherheitsbüro

M. Winter

Die Abteilung "Technisches Sicherheitsbüro" hat beratende, kontrollierende und administrativ steuernde Funktionen auf allen Gebieten des Strahlenschutzes und des Arbeitsschutzes. Sie überprüft die Einhaltung angeordneter Maßnahmen zur Erfüllung gesetzlicher Pflichten, behördlicher Auflagen und sonstiger Vorschriften zur technischen Sicherheit im Kernforschungszentrum Karlsruhe. Zu ihren Aufgaben gehören die zentrale Erfassung und Dokumentation sicherheitsrelevanter Daten, Fakten und Vorgänge.

Die Gruppe "Strahlenschutz" unterstützt die Tätigkeit der Strahlenschutzbeauftragten und den praktischen Strahlenschutz durch Information, Beratung und Behördenkontakte. Sie überprüft die Einhaltung der Strahlenschutz- und der Röntgenverordnung sowie behördlicher Auflagen, führt EDV-gestützte Dateien mit den persönlichen Meßdaten der beruflich strahlenexponierten Personen und verfolgt Termine.

Die Gruppe "Arbeitsschutz" wird auf allen Gebieten der konventionellen Sicherheit am Arbeitsplatz kontrollierend, beratend und ausbildend tätig und fördert so das Sicherheitsbewußtsein. Sie erledigt Meldung, Registrierung und Berichterstattung von Arbeitsunfällen, ordnet vorsorgliche Maßnahmen an und bestellt sicherheitsbeauftragte Personen. Sie berät in allen Fragen der ordnungsgemäßen Beseitigung inaktiver Abfälle.

Der Gruppe "Kernmaterialüberwachung" obliegt die zentrale Buchhaltung für die KfK GmbH zur Erfassung, Überwachung und Meldung von Kernmaterial und sonstigen radioaktiven Stoffen und die Vorbereitung und Betreuung der Inspektionen durch internationale Behörden.

Die Gruppe "Einsatzplanung und Einsatzleitung" stellt den Einsatzleiter vom Dienst (EVD) für die Sicherheitsorganisation der KfK GmbH, sie aktualisiert und erarbeitet Einsatzunterlagen, organisiert Alarmübungen der Einsatztrupps, erstattet Einsatzberichte bei Störfällen und Unfällen und meldet sicherheitstechnisch bedeutsame Ereignisse den Aufsichtsbehörden.

Technisches Sicherheitsbüro	Leitung und Koordinierung Behördenkontakte Dokumentation und Planung Korrespondenz
Strahlenschutz	Einhaltung von Strahlenschutz- und Röntgenverordnung Betriebs- und Terminüberwachung, Beratung Dokumentation personenbezogener Strahlenschutzdaten Bestellung der Strahlenschutzbeauftragten, Strahlenpässe
Arbeitsschutz	Betriebs- und Arbeitsplatzüberwachung Sicherheitsinformationen, Beratung, Ausbildung Sekretariat des Arbeitsschutzausschusses Unfallanalysen
Kernmaterialüberwachung	Erfassung und Meldung von Kernmaterial Begleitung der Inspektionen durch EURATOM und IAEA Erfassung und Meldung sonstiger radioaktiver Stoffe Transportüberwachung
Einsatzplanung und Einsatzleitung	Sicherheitsorganisation und Sicherheitsregeln Einsatzunterlagen und Einsatzberichte Ausbildung, Alarmübungen der Einsatztrupps Einsatzleitung bei Störfällen und Unfällen
Abfallwirtschaft	Regelungen zur Beseitigung inaktiver Abfälle Überwachung der Abfallwege und der Art der Beseitigung Einwirkung auf Reduzierung und Verwertung Informationen und Berichterstattung

## 2.1 Strahlenschutz

### 2.1.1 Betriebsüberwachung

H. Roock

Zur Überprüfung der vor Ort getroffenen Strahlenschutzmaßnahmen, der Einhaltung von Verordnungen, Genehmigungsaufgaben und Vorschriften sowie aufgrund von Zwischenfällen und bei behördlichen Aufsichtsbesuchen wurden im Berichtsjahr 50 Begehungen in den Instituten und Abteilungen des Kernforschungszentrums Karlsruhe durchgeführt, in denen mit radioaktiven Stoffen oder Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen umgegangen wird. Routinebegehungen, die nach Terminabsprache im Beisein eines Strahlenschutzbeauftragten und des örtlichen Strahlenschutzes erfolgten und zu denen der Betriebsrat und die Medizinische Abteilung eingeladen wurden, sowie die Begehungen im Rahmen der behördlichen Aufsichtsbesuche und aufgrund besonderer Anlässe führten im wesentlichen zu den im Folgenden nach abnehmender Häufigkeit aufgelisteten Beanstandungen:

- Mängel bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle,
- unzureichende oder fehlende Kennzeichnungen,
- Unzulänglichkeiten bei Atemschutzgeräten,
- Mängel an Sanitätseinrichtungen,
- Vorhandensein von größeren Mengen an brennbarem Verpackungsmaterial und von brennbaren Flüssigkeiten in Überwachungsbereichen,
- fehlende oder inhaltlich falsche Aushänge, die verantwortlichen Personen gem. StrlSchV und RÖV betreffend,
- Mängel an Abluftsystemen (Boxen),
- nicht überprüfte Handfeuerlöcher,
- Verstöße gegen § 53 StrlSchV,
- Nichteinhaltung der Kleiderordnung,
- defekte Handschuhe und Mängel bei der Handschuhbefestigung an Gloveboxen.

Es wurden jedoch keine schwerwiegenden sicherheitsrelevanten Mängel festgestellt.

Die 1986 dem Technischen Sicherheitsbüro gemeldeten personen-, raum- und sachbezogenen Vorkommnisse mit radioaktiven Stoffen zeigt Tab. 2/1. Die Aufgliederung nach Ursachen der insgesamt 15 erfaßten Vorkommnisse erfolgte nach dem jeweils überwiegender Merkmal.

Ursache	Betroffenes Objekt	Betroffene Körperteile
Technische Mängel      13 %	Personen                      87 %	Kopf                              31 %
Organisatorische Mängel    0 %	Gegenstände                    7 %	Hände                            31 %
Verhaltensmängel          87 %	Raumluft                        6 %	Ganzkörper                      38 %

Tab. 2/1: Vorkommnisse im Zusammenhang mit radioaktiven Stoffen

### 2.1.2 Unterstützung der Strahlenschutzbeauftragten

H. Roock

Der im Dezember 1985 in 230 Exemplaren an alle Strahlenschutzverantwortung tragende Personen

ausgegebene neue Strahlenschutzordner wurde 1986 ergänzt und aktualisiert.

Zu erwähnen ist insbesondere das Merkblatt "Bedingungen für die Beschäftigung von Fremdfirmen-angehörigen, deren Arbeitgeber nicht im Besitz einer Genehmigung gemäß § 20 a StrlSchV sind", das in Zusammenarbeit mit der Rechtsabteilung und HS/Ü überarbeitet wurde (siehe Kap. 2.1.5).

Aufgrund von Umorganisationen wurden 21 Neubestellungen und 37 Änderungen der Zuständigkeiten von Strahlenschutzbeauftragten bzw. deren Stellvertretern (ohne Entlastungen und ohne Änderungen von Raumzuständigkeiten in der gleichen Organisationseinheit) erforderlich. Ende 1986 gab es bei der KfK GmbH 61 Strahlenschutzbeauftragte und 169 Stellvertreterfunktionen. Bei den Neubestellungen waren jeweils Strahlenschutzfachkunde und persönliche Zuverlässigkeit nachzuweisen. Für die Organisationseinheiten der KfK gab es Ende 1986 insgesamt 32 behördliche Genehmigungen zum Betreiben von Röntgengeräten oder Störstrahlern, die von 40 Verantwortlichen für den Strahlenschutz (VfS/RÖV) und 32 stellvertretenden VfS/RÖV überwacht werden, bei deren Neubestellung die Fachkunde ebenfalls nachzuweisen war.

Die Beantwortung telefonischer Anfragen über allgemeine Strahlenschutzfragen, Beratung bei der Neueinrichtung von Kontrollbereichen sowie bei der Erfüllung von Behördenauflagen, die Durchsicht von Sicherheitsbetrachtungen und Sicherheitsberichten bildeten auch 1986 einen wesentlichen Teil der Routineaufgaben.

Die Beratung erstreckte sich auch auf Fremdfirmen, die Aufträge zur Durchführung von Arbeiten in Strahlenschutzbereichen der KfK GmbH erhalten haben. Mehrfach ging es um die Entscheidung, ob eine Genehmigung nach § 20a erforderlich ist, oder ob es sich nur um eine gelegentliche Tätigkeit handelt. Weiterhin sind dabei Fragen bezüglich des Abgrenzungsvertrages, des Strahlenpasses und der zu erbringenden Vorleistungen aufgetreten.

### 2.1.3 Personenüberwachung

H. Roock

Sowohl die von der amtlichen Meßstelle als auch alle in Eigenüberwachung ermittelten Personendosen und Inkorporationsmeßergebnisse werden registriert und 30 Jahre lang aufbewahrt. Seit dem 01.01.1984 werden alle Dosismesswerte, ärztliche Untersuchungstermine und Belehrungstermine ausschließlich mittels EDV erfaßt, überwacht und ausgewertet. Bei festgestellten Grenzwertüberschreitungen erfolgen Meldungen, damit die jeweils erforderlichen Maßnahmen eingeleitet werden können.

Zu den Aufgaben der Personenüberwachung i. S. der StrlSchV gehören auch Ausgabe und Rücknahme der amtlichen Personendosimeter sowie deren Versand an die amtliche Meßstelle (Landesanstalt für Umweltschutz, Karlsruhe). Als Begleitpapier für die amtlichen Dosimeter dient der "Überwachungsbogen zur Personendosis-Feststellung". Diese für den jeweiligen Überwachungszeitraum zusammen mit den amtlichen Dosimetern verteilten Formulare sind am Ende der Dosimetertragezeit ausgefüllt (Name, Vorname, Dosimeter-Nr., Befestigungsort, Strahlungsart) an das Technische Sicherheitsbüro der HS zurückzugeben. Die KfK-interne Dosimetrie wird von HS/D und HS/Ü abgewickelt.

Aufgrund der Genehmigung nach § 20 a StrlSchV werden für KfK-Mitarbeiter, die in fremden kerntechnischen Anlagen tätig werden müssen, Strahlenpässe ausgestellt und die Eintragungen im Bedarfsfall auf den neuesten Stand gebracht. Zur Zeit sind 243 KfK-Angehörige im Besitz eines gültigen Strahlenpasses.

Für beruflich strahlenexponierte Personen, die erstmals tätig werden, oder deren Umgang mit

radioaktiven Stoffen sich wesentlich verändert, sind vom zuständigen Strahlenschutzbeauftragten (SSB) Erhebungsbogen zur Einstufung in Überwachungskategorien auszufüllen. Die Einzelangaben und die von den SSB vorgeschlagenen Einstufungen werden im Technischen Sicherheitsbüro geprüft, bevor hier die endgültige Einstufung vorgenommen wird. Sofern Korrekturen oder Ergänzungen notwendig sind, erfolgen diese in Abstimmung mit dem SSB. Ende 1986 waren von den Mitarbeitern der KfK GmbH und von den Angehörigen der Universität Karlsruhe, die ihren ständigen Arbeitsplatz in der KfK haben, insgesamt 597 Personen in Kategorie A und 1 457 Personen in Kategorie B als beruflich strahlenexponierte Personen eingestuft.

Eine Übersicht über den Aufgabenbereich zeigt die folgende Zusammenstellung:

- Erfassung von strahlenexponierten Personen mittels Erhebungsbogen,
- Erfassung von Fremdfirmenangehörigen mittels Einlegeblatt zum Strahlenpaß,
- Erfassung der Meßwerte und Expositionszeiten von
  - amtlichen Filmdosimetern,
  - Thermolumineszenzdosimetern,
  - Stabdosimetern,
  - Albedodosimetern,
  - Teilkörperdosimetern,
  - Glasdosimetern,
- Erfassung von Ergebnissen der Inkorporationsüberwachung,
- Terminüberwachung für
  - ärztliche Untersuchungen gemäß § 67 StrlSchV und § 42 RöV,
  - Belehrungen gemäß § 39 StrlSchV,
- Ausfertigung von Strahlenpässen,
- administrative Maßnahmen bei Beendigung des Beschäftigungsverhältnisses von strahlenexponierten Mitarbeitern.

Seit Januar 1984 erhalten die SSB, HS/Ü und die LfU monatlich einen Computerausdruck, der alle Dosiswerte enthält, die mit den verschiedenen Dosimetersystemen ermittelt wurden. Der Ausdruck erfolgt getrennt nach Organisationseinheiten. Die beruflich strahlenexponierten Mitarbeiter jeder Organisationseinheit werden in alphabetischer Reihenfolge aufgelistet. Außerdem werden jedem beruflich strahlenexponierten Mitarbeiter der KfK seine Dosiswerte für das vergangene Jahr zu seiner persönlichen Information mitgeteilt.

Den Fremdfirmen, mit denen aufgrund ihrer Genehmigung nach § 20a StrlSchV ein Abgrenzungsvertrag über den jeweiligen Verantwortungsumfang der Strahlenschutzverantwortlichen (SSV) bzw. -beauftragten (SSB) besteht, werden die vom Strahlenschutz der KfK gemessenen Stabdosiswerte monatlich für alle im laufenden Kalenderjahr bei der KfK GmbH nicht nur gelegentlich tätig gewordenen Fremdfirmenangehörigen übermittelt.

#### 2.1.4 Ergebnisse der Personendosisüberwachung

P. Meyer, W. Tachlinski

Die vielfältigen Aufgaben bei der Dosiserfassung und Dosisauswertung werden mit Hilfe des EDV-Hauptprogrammes mit der Kurzbezeichnung "DON" durchgeführt.

Zur Auswertung der gespeicherten Daten stehen drei Programme zur Verfügung:

- Häufigkeitsverteilung der monatlichen Strahlenexposition,
- Häufigkeitsverteilung von Dosissummen,
- Jahres-Dosissummen und -Mittelwerte.

Es können Statistiken für einzelne Organisationseinheiten oder für alle Organisationseinheiten nach unterschiedlichen Überwachungskategorien und Dosimeterarten abgerufen werden.

Die überwachten Organisationseinheiten und Anlagen der KfK wurden zu folgenden Gruppen zusammengefaßt:

- Reaktoren und Beschleuniger (IK III, INFP, INR, KTB/SNEAK),
- Institutionen mit hohem Aktivitätsinventar (IHCh, INE, IRCh, KTB/FR 2, KTB/HZ),
- Institutionen mit niedrigem Aktivitätsinventar (IMF I, II und III, IT, LAF II, LIT),
- Dekontamination und Abfallbehandlung (HDB),
- Sonstige Institutionen.

Die Tabellen 2/2 und 2/3 zeigen die Häufigkeitsverteilungen der monatlichen Dosiswerte beruflich strahlenexponierter Personen der Kategorie A und B für die vorgegebene Intervallschachtelung zwischen 0 mSv und 50 mSv. Durch Ausscheiden von Mitarbeitern oder durch Umstufungen von Mitarbeitern in eine andere Überwachungskategorie aufgrund geänderter Arbeitsbedingungen variiert die Zahl der überwachten Personen in den einzelnen Monaten.

In Tab. 2/4 wurden für die hier definierten Gruppen verschiedener Organisationseinheiten und Anlagen der KfK die prozentualen Häufigkeitsverteilungen der Jahresdosiswerte dargestellt. Die Darstellung erfolgte wiederum für die beruflich strahlenexponierten Personen beider Kategorien und für dieselbe Dosisintervallschachtelung. Bei der Summation wurden auch alle die Mitarbeiter mitgezählt, die nur während eines Teils des Jahres beruflich strahlenexponiert waren oder der betrachteten Gruppierung von Organisationseinheiten angehört haben. Dies bedeutet, daß z. B. die Vierteljahresdosis eines Mitarbeiters in der Kategorie B als Jahresdosis in die Statistik einging, da seine Dosisexposition während der restlichen 9 Monate des Jahres mit 0 mSv bewertet wurde. Aufgrund dieses Sachverhaltes weichen die in Tab. 2/4 genannten Zahlen für die erfaßten Jahresdosiswerte (= Gesamtzahl aller Personen, die jemals - wenn auch nur für einen Monat - in der Datei erfaßt waren) und die Zahlenwerte für die mittlere überwachte Personenzahl voneinander ab. Die mittlere überwachte Personenzahl ist immer kleiner als die Anzahl der erfaßten Jahresdosiswerte. Die mittlere Personenzahl des Jahres 1986 wurde durch arithmetische Mittelbildung aus den monatlichen Zahlen gebildet. Zur Angabe der Jahresdosismittelwerte wurde von diesen Mittelwerten ausgegangen. Außerdem wurde bei jeder Gruppe der höchste gemessene Jahreseinzelswert ausgewiesen.

Abgesehen von geringfügigen statistischen Schwankungen hat sich die Anzahl der überwachten Personen seit 1983 auf einen nahezu konstanten Wert eingependelt. Die Werte in Tab. 2/4 unterscheiden sich nur unwesentlich von denen des Vorjahres. Diese geringere Strahlenexposition ist im wesentlichen auf konstruktive Änderungen an der Anlage zur Erzeugung von Radionukliden zurückzuführen.

Die Strahlenexposition der KfK-Mitarbeiter zeigt fallende Tendenz. 1986 entspricht die mittlere Dosis von 1 mSv für die Personen der Kategorie A nur noch 2 % des zulässigen Grenzwertes. Für die Personen der Kategorie B liegt der Dosismittelwert mit 0,08 mSv sogar nur bei rund 0,5 % des Jahresgrenzwertes. Insgesamt kam es zu keiner einzigen Grenzwertüberschreitung.

Dosisintervall in mSv	Häufigkeitsverteilungen der monatlichen Filmdosiswerte in %											
	JAN	FEB	MÄRZ	APRIL	MAI	JUNI	JULI	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
H = 0.0	75.8	78.0	77.2	72.1	84.8	80.2	81.1	86.3	82.5	80.5	92.0	85.1
0 < H ≤ 0.2	11.7	10.8	9.8	12.6	6.8	12.2	8.8	10.5	9.5	10.2	4.5	7.2
0.2 < H ≤ 0.4	5.7	5.2	6.6	7.5	4.6	4.5	4.5	1.5	3.7	5.8	1.5	3.9
0.4 < H ≤ 1.0	3.5	3.2	4.0	5.1	2.8	2.2	4.0	1.2	2.7	2.9	1.3	2.7
1.0 < H ≤ 2.0	2.5	2.3	1.8	2.0	1.0	1.0	0.8	0.5	1.2	0.5	0.7	1.0
2.0 < H ≤ 5.0	0.7	0.5	0.5	0.7	0.0	0.0	0.7	0.0	0.5	0.2	0.0	0.2
5.0 < H ≤ 10.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0 < H ≤ 15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15.0 < H ≤ 20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20.0 < H ≤ 25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25.0 < H ≤ 30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30.0 < H ≤ 35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
35.0 < H ≤ 40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40.0 < H ≤ 45.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45.0 < H ≤ 50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H > 50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Überw. Personenzahl:	600	601	602	603	607	600	599	600	599	591	600	597

Tab. 2/2: Ergebnisse der amtlichen Filmdosimetrie des Jahres 1986 für beruflich strahlenexponierte Personen der KfK in der Kategorie A bei monatlicher Dosimeterauswertung

Dosisintervall in mSv	Häufigkeitsverteilungen der monatlichen Stabdosiswerte in %											
	JAN	FEB	MÄRZ	APRIL	MAI	JUNI	JULI	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
H = 0.0	96.5	97.9	96.9	98.0	98.0	96.0	98.5	98.2	97.2	98.0	98.8	98.2
0 < H ≤ 0.2	1.9	1.0	1.5	0.7	0.9	2.7	0.9	1.1	1.5	1.0	0.8	1.0
0.2 < H ≤ 0.4	1.5	0.9	1.3	1.1	0.9	1.0	0.4	0.7	0.9	0.6	0.4	0.7
0.4 < H ≤ 1.0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.2	0.0	0.4	0.3	0.1	0.1
1.0 < H ≤ 2.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
2.0 < H ≤ 5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0 < H ≤ 10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0 < H ≤ 15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15.0 < H ≤ 20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20.0 < H ≤ 25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25.0 < H ≤ 30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30.0 < H ≤ 35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
35.0 < H ≤ 40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40.0 < H ≤ 45.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45.0 < H ≤ 50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H > 50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Überw. Personenzahl:	1480	1493	1508	1504	1498	1500	1505	1493	1480	1430	1456	1457

Tab. 2/3: Ergebnisse der internen Dosimetrie des Jahres 1986 mittels Stabdosimetern für beruflich strahlenexponierte Personen der KfK in Kategorie B bei monatlicher Dosimeterauswertung

Dosisintervall in mSv	Häufigkeitsverteilungen der Jahresdosiswerte 1986 in %					
	A	B	A	B	A	B
H = 0.0	31.5	83.0	38.6	75.5	76.7	75.4
0.0 < H ≤ 0.2	6.5	6.8	17.2	7.2	14.0	7.4
0.2 < H ≤ 0.4	6.5	4.1	7.6	7.6	2.3	12.9
0.4 < H ≤ 1.0	9.1	4.1	11.0	7.6	2.3	3.3
1.0 < H ≤ 2.0	10.4	2.0	11.7	0.4	2.3	1.1
2.0 < H ≤ 5.0	14.3	0.0	11.7	1.4	2.3	0.0
5.0 < H ≤ 10.0	13.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0
10.0 < H ≤ 15.0	3.9	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0
15.0 < H ≤ 20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20.0 < H ≤ 25.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25.0 < H > 50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Anzahl erfaßter Jahresdosiswerte	72	149	137	280	39	273
Mittlere überwachte Personenzahl	71	129	134	246	37	245
Jahresmittelwert in mSv	2.67	0.10	0.94	0.15	0.19	0.10
höchster Jahreseinzelnwert in mSv	20.30	1.80	12.60	2.80	3.00	1.60
Gruppe	Reaktor und Beschleuniger		Institutionen mit hohem Aktivitätsinventar		Institutionen mit niedrigem Aktivitätsinventar	

Dosisintervall in mSv	Häufigkeitsverteilungen der Jahresdosiswerte 1986 in %					
	A	B	A	B	A	B
H = 0.0	27.6	70.6	78.6	89.8	56.8	84.1
0.0 < H ≤ 0.2	6.7	5.9	8.0	4.5	10.0	5.7
0.2 < H ≤ 0.4	3.8	5.9	3.0	3.5	4.5	5.8
0.4 < H ≤ 1.0	8.6	8.8	4.3	1.8	6.9	3.4
1.0 < H ≤ 2.0	16.2	0.0	3.7	0.3	8.1	0.6
2.0 < H ≤ 5.0	22.9	8.8	2.3	0.0	9.0	0.4
5.0 < H ≤ 10.0	10.5	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0
10.0 < H ≤ 15.0	3.8	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0
15.0 < H ≤ 20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20.0 < H ≤ 25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
25.0 < H > 50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Anzahl erfaßter Jahresdosiswerte	100	34	268	935	607	1671
Mittlere überwachte Personenzahl	94	31	264	832	600	1484
Jahresmittelwert in mSv	2.66	0.36	0.21	0.04	1.05	0.08
höchster Jahreseinzelnwert in mSv	14.60	2.80	3.80	1.70	20.30	2.80
Gruppe	Dekontamination und Abfallbehandlung		sonstige Institutionen		KfK insgesamt	

Tab. 2/4: Ergebnisse der amtlichen Dosimetrie (Filmdosimeter) für Personen der Kategorie A und der KfK-internen Dosimetrie (Stabdosisimeter) für Personen der Kategorie B. Die Darstellung erfolgte getrennt für die verschiedenen Gruppen von Organisationseinheiten der KfK und für die KfK insgesamt.

2.1.5 Bedingungen für die Beschäftigung von Fremdfirmenangehörigen, deren Arbeitgeber keine Genehmigung gem. § 20 a StrlSchV haben

H. Roock

Bei dem betroffenen Personenkreis handelt es sich um Fremdfirmenangehörige, die als Arbeitnehmer in Einrichtungen des Kernforschungszentrums Karlsruhe, in denen genehmigungsbedürftige Tätigkeiten nach dem Atomgesetz oder der Strahlenschutzverordnung stattfinden, tätig werden und deren Firma nicht Inhaber einer § 20 a-Genehmigung ist.

1. Beruflich strahlenexponierte Personen, die gelegentlich tätig sind.

- Eingrenzung gemäß § 20 a StrlSchV:

Bei der vorgesehenen Tätigkeit dürfen die Dosisgrenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B (siehe StrlSchV Anlage X und die §§ 49, 50, 51 und 52) nicht überschritten werden. Die Tätigkeit darf nur gelegentlich stattfinden.

- Personendosimetrie:

Personen, die im Kontroll- oder Sperrbereich tätig werden, sind mit Taschenionisationskammern und Phosphatglasdosimetern auszurüsten.

- Voraussetzungen für die Tätigkeitsaufnahme:

Vor der vom zuständigen SSB zu genehmigenden Arbeitsaufnahme muß

- die schriftliche Bestätigung des Arbeitgebers vorliegen, daß der Fremdfirmenangehörige nur gelegentlich i. S. von § 20 a StrlSchV tätig ist,
- eine Strahlenschutzbelehrung gemäß § 39 StrlSchV stattgefunden haben,
- das Formular zum Nachweis über die nicht amtlich ermittelte Personendosis ausgefüllt und an HS/TSB geschickt werden,
- eine ärztliche Bescheinigung gemäß § 67 der StrlSchV vorliegen, wenn mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen werden soll.

2. Nicht beruflich strahlenexponierte Personen

- Eingrenzung:

Es muß sichergestellt sein, daß die betreffende Person im Kalenderjahr nicht mehr als 1/10 der Grenzwerte der Anlage X, Spalte 2 der StrlSchV erreichen kann. Dies gilt unter Berücksichtigung aller Strahlenbelastungen im Beruf. Vor Aufnahme der Arbeit muß am Arbeitsort unter den üblichen Betriebsbedingungen die Ortsdosis bestimmt werden. Einsatz im Sperrbereich ist nicht zulässig.

- Personendosimetrie:

Die Fremdfirmenangehörigen sind zur Kontrolle mit Taschenionisationskammern auszurüsten.

- Voraussetzungen für die Tätigkeitsaufnahme:

Vor der vom zuständigen SSB zu genehmigenden Arbeitsaufnahme muß

- die schriftliche Bestätigung des Arbeitgebers vorliegen, daß der Fremdfirmenangehörige keine beruflich strahlenexponierte Person ist,
- eine Strahlenschutzbelehrung gem. § 39 StrlSchV stattgefunden haben,
- das Formular zum Nachweis über die nicht amtlich ermittelte Personendosis ausgefüllt und an HS/TSB geschickt werden.

3. Nach Beendigung der Tätigkeit ist in jedem Fall das Formular zum Nachweis über die nicht amtlich ermittelte Personendosis

- durch die Meßwerte zu ergänzen,
- in Kopie dem Fremdfirmenangehörigen gegen Unterschrift auszuhändigen,
- in Kopie HS/TSB zu übersenden.

Auf Veranlassung des zuständigen SSB sind gegebenenfalls Inkorporationsmessungen durchzuführen.

## 2.2 Arbeitsschutz

### 2.2.1 Betriebsüberwachung

F. Merschroth, H. Wilker, E. Windbühl, W. Winkelmann

Zur Überprüfung der Arbeitssicherheit wurden 210 protokollierte Begehungen in den baulichen Objekten, Außen- und Versuchsanlagen sowie in Einrichtungen der Infrastruktur durchgeführt. In diesen 210 protokollierten Begehungen sind 87 Baustellenbegehungen enthalten.

An 45 der 210 protokollierten Begehungen haben die Sicherheitsbeauftragten nach § 719 RVO der jeweiligen Organisationseinheiten teilgenommen. Vertreter des Betriebsrates nahmen an 13 Begehungen teil. Gemäß den Verpflichtungen des ASiG wurden 6 gemeinsame Begehungen mit Betriebsarzt, Sicherheitsfachkraft und Betriebsrat durchgeführt. Mit Vertretern von Aufsichtsbehörden fanden 8 Revisionen statt. Diese bestanden überwiegend in einer Schwerpunktüberprüfung von Schweißarbeitsplätzen in 9 Werkstätten.

Die Betriebsbegehungen erstreckten sich auf 45 Institute und Teilinstitute der KfK GmbH. Zwei Drittel aller Institute, Hauptabteilungen, Abteilungen und Projektbereiche wurden hierbei begangen. Das Hauptaugenmerk richtete sich bei den Begehungen auf die Bereiche, in denen experimentell gearbeitet wird oder in denen Mitarbeiter erhöhten Gefährdungen ausgesetzt sind. Eine Übersicht der häufigsten Beanstandungen bei diesen Begehungen gibt Tab. 2/5.

Art der Beanstandungen bei den Betriebsbegehungen	Anzahl
Mangelhafte oder fehlende Sicherheitskennzeichnung am Arbeitsplatz	132
Mängel an elektrischen Betriebseinrichtungen	66
Unzulässige Lagerung und ungenügende Befestigung von Druckgasflaschen und deren Schlauchanschlüsse	60
Mangelhafte Kennzeichnung von Notausgängen und Fluchtwegen	38
Mangelhafte oder fehlende Absturzsicherung	33
Erhöhte Brandlasten, Verstellen von Schutzeinrichtungen	33
Unerlaubte Nutzung von Rettungs- und Verkehrswegen	30
Mängel an Arbeitsmaschinen	30
Fehlende oder mangelhafte Beleuchtung und Notbeleuchtung der Arbeitsplätze und der Rettungswege	28
Fehlende, zu befestigende oder zu überprüfende Feuerlöscher und fehlende Kennzeichnung der Wandhydranten	28
Unsachgemäße Verwendung oder Lagerung gefährlicher Arbeitsstoffe	24
Mangelhafte oder fehlende Ausstattung von Arbeits- und Pausenräumen und sanitären Einrichtungen	20
Vorschriftswidrige Rollenstühle, Leitern und Treppen	13
Fehlende persönliche Schutzausrüstung	12
Unzulässige Verwendung von Asbest oder anderen krebserzeugenden Stoffen	7
Verwendung mangelhafter Hebezeuge und Anschlagmittel	6
Mängel an kraftbetätigten Türen, Toren und Fenstern	5
Summe	565

Tab. 2/5: Übersicht über Art und Anzahl der Beanstandungen bei den 210 protokollierten Betriebsbegehungen 1986.

Schwerpunkte der Begehungen bildeten im Berichtszeitraum mechanische und elektronische Werkstätten sowie biologische und chemische Laboratorien. Die Begehungen in den Werkstätten und Laboratorien dienten u. a. gleichzeitig zur Ermittlung, ob und in welchem Umfang dort mit gefährlichen Arbeitsstoffen umgegangen wird. Diese Erfassung ist äußerst wichtig für die 1986 in Kraft getretene Gefahrstoffverordnung, worin der Arbeitgeber u. a. verpflichtet wird, im Betrieb eingesetzte gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe zu ermitteln.

Wie im Vorjahr steht die Mängelart "Sicherheitskennzeichnung am Arbeitsplatz" wieder an erster Stelle. Fehlende Kennzeichnungen an betrieblichen Einrichtungen und Arbeitsstoffen, wie z. B. elektrische Einrichtungen oder Lösemittel, sind darunter zusammengefaßt. Nicht gekennzeichnete betriebliche Einrichtungen waren gleichermaßen in Laboratorien und Werkstätten zu beanstanden.

Mit 66 bzw. 60 Beanstandungen stehen Mängel an elektrischen Betriebseinrichtungen und die Lagerung und Befestigung von Druckgasflaschen und deren Schlauchanschlüssen an zweiter Stelle. Die Steigerung der Anzahl der letzten Mängelart kann auf die Schwerpunktüberprüfungen "Schweißarbeitsplätze" zurückgeführt werden.

Obwohl die Kennzeichnung von Notausgängen und Fluchtwegen eigentlich zur Rubrik "Sicherheitskennzeichnung am Arbeitsplatz" gehört, wurde die Anzahl dieser Mängel in einer eigenen Zeile ausgewiesen. Das Ansteigen dieser Zahl wurde bereits im Laufe des Jahres 1986 festgestellt. Daraufhin wurde die KfK-Norm 6 "Sicherheitskennzeichnung am Arbeitsplatz" überarbeitet und wesentlich erweitert.

An vierter Stelle stehen mangelhafte oder fehlende Absturzsicherungen, erhöhte Brandlasten und das Verstellen von Schutzeinrichtungen, Mängel an Arbeitsmaschinen und die unerlaubte Nutzung von Rettungs- und Verkehrswegen mit 126 von insgesamt 565 Beanstandungen.

In der fünften Rubrik werden Mängel an der Beleuchtung der Arbeitsplätze, fehlende oder mangelhafte Notbeleuchtung, fehlende, zu befestigende oder zu überprüfende Feuerlöscher und die Kennzeichnung von Wandhydranten aufgeführt. Von den insgesamt 565 Mängeln nehmen sie einen Anteil von 56 ein.

An vorletzter Stelle ist die unsachgemäße Verwendung oder Lagerung gefährlicher Arbeitsstoffe zu finden. Mit 24 von 565 Beanstandungen ist dieser Anteil gegenüber dem Jahr 1985 erfreulich gesunken. Im Jahre 1985 mußten noch 41 Beanstandungen ausgesprochen werden. Bei den restlichen Mängeln liegt der Anteil zwischen 1 und 3,5 %.

Der Anteil von erforderlichen Begutachtungen bei geplanten Bau- und Umbaumaßnahmen von Gebäuden, Versuchsanlagen, Verkehrswegen, Beleuchtungs-, Belüftungs- und sanitären Einrichtungen, der im Vorjahr noch bei 57 % aller protokollierten Begehungen lag, ist 1986 auf 39 % gesunken.

Im Gegensatz zu den routinemäßig durchgeführten Betriebsbegehungen liefern Kontrollgänge eine eigene Mängelstatistik, weil sie aufgrund gezielter Hinweise durchgeführt werden und weil meistens nur ein einziges Mängelkriterium Gegenstand des Kontrollgangs ist. Diese Kontrollgänge werden auf Veranlassung des Objektsicherungsdienstes ausgeführt, der gehalten ist, offensichtliche Mängel an Anlagen und Verkehrswegen in und außerhalb der Gebäude, die bei Streifengängen auffallen, zu melden. Im Berichtszeitraum wurden 80 Kontrollgänge durchgeführt. Eine Übersicht der häufigsten Beanstandungen findet sich in Tab. 2/6.

Eine weitere Aufgabe der Betriebsüberwachung erstreckt sich auf Baustelleneinrichtungen und deren Abnahme bei Neueinrichtung im KfK. Dabei wurden 1986 auf 29 Baustellen 49 Baustelleneinrichtungen sicherheitstechnisch überprüft.

Die festgestellten Mängel aus der Überprüfung von Baubaracken, Bauwagen und Containern, die als Büros, Lager und Dauerunterkünfte dienen, sind in Tab. 2/7 wiedergegeben.

Art der Beanstandungen bei nicht protokollierten Kontrollgängen	Anzahl
Fehlende, zu befestigende, unzugängliche oder zu überprüfende Feuerlöscher	24
Mängel an Arbeitsmaschinen	15
Fehlende thermische Isolierungen	12
Unsachgemäße Lagerung gefährlicher Betriebs- und Arbeitsstoffe	9
Mängel an Flucht- und Rettungswegen und Verkehrswegen sowie Notausgängen	9
Gebäudeschäden und fehlende Bezeichnung von Gebäuden	5
Nicht vorschriftsmäßige Aufstellung, Sicherung und Lagerung von Druckgasflaschen	5
Mängel an elektrischen Betriebseinrichtungen	5
Mangelhafte oder fehlende Absturzsicherung	3
Unzureichende Sicherheitskennzeichnung am Arbeitsplatz	3
Sonstiges	5

Tab. 2/6: Übersicht über Art und Anzahl der Beanstandungen bei 80 Kontrollgängen 1986, die aufgrund von Mängelmeldungen des Objektsicherungsdienstes ausgeführt wurden.

Art der Beanstandungen an Baustelleneinrichtungen	Anzahl
Fehlende, zu befestigende oder zu überprüfende Feuerlöscher	69
Fehlende Firmenschilder und Baustellennummern	34
Mängel an der Bauwagenbeheizung	5
Nicht vorhandene thermische Isolierungen	3
Mängel an elektrischen Maschinen und Elektroinstallationen	3
Unsachgemäße Lagerung wassergefährdender Betriebs- und Arbeitsstoffe	3
Unsachgemäße Lagerung und Sicherung von Brennstoffen oder Druckgasflaschen	2
Ohne Mängel	8

Tab. 2/7 : Übersicht über Art und Anzahl der Beanstandungen bei der Überprüfung und Abnahme von 49 Baustelleneinrichtungen.

### 2.2.2 Arbeitsplatzüberwachung

H. Wilker, F. Merschroth

Schwerpunkte der Arbeitsplatzüberwachung bildeten 1986 Lärmpegelmessungen und Konzentrationsbestimmungen gesundheitsgefährdender Gase und Dämpfe. Tab. 2/8 gibt Auskunft darüber, in welchen Instituten bzw. Organisationseinheiten der KfK Lärmpegel- oder Schadstoffmessungen

vorgenommen wurden und welche Räume, Geräte oder Anlagen die Überwachungsmaßnahmen notwendig machten.

Die von HS/TSB durchgeführten Arbeitsplatzüberwachungen beschränkten sich nicht auf Messungen und deren Auswertung. Eine abschließende Beurteilung der überwachten Arbeitsplätze und die Erarbeitung von technischen Lösungsvorschlägen zur Minderung der Lärmimmission bzw. der Schadstoffkonzentration waren wesentliche Bestandteile der jeweils gestellten Überwachungsaufgabe.

Organisations- einheit	Art der Überwachung	Überwachte Räume, Geräte und Anlagen
FIZ 4	Lärmpegelmessung	Kompressor (Dämmung)
HDB	Lärmpegelmessung	Unterbrechungslose Stromversorgung
HDB	Lärmpegelmessung	Geb. 545, R 120, 126, 302, Geb. 555, R 40b
HS/R	Lärmpegelmessung	Schreibautomat R 309
HS/R	Schadstoffmessung	Baracke 630b
HS/R	Lärmpegelmessung	Arbeitsplätze R 304, 312, 314, 317
HS/R	Lärmpegelmessung	Arbeitsplätze Geb. 101, R 021, 022, 101
IDT	Lärmpegelmessung	Arbeitsplätze R 106
IDT	Lärmpegelmessung	R 106 (mit Umrüstung)
IGT	Lärmpegelmessung	Lärmdämmung von Büros
IK	Schadstoffmessung	Geb. 401, Halle, R 129
IMF	Lärmpegelmessung	Einrichtung von Büroarbeitsplätzen
INE	Lärmpegelmessung	R 154 - Raumluftüberwachung
INR	Lärmpegelmessung	KALIF-Anlage (nach Dämmung)
INR	Schadstoffmessung	Halle 423 (Spachtel- und Streicharbeiten)
IT	Lärmpegelmessung	Gaseinspeisung für Halle 415
IT/E	Beleuchtung	Geb. 601, Elektroniker-Arbeitsplätze
ITP	Lärmpegelmessung	Kompressor (Dämmung)
ITP	Lärmpegelmessung	Meßkabine TOSKA
IRB	Lärmpegelmessung	Geb. 272, Meßwerterfassung
IRE	Lärmpegelmessung	Geb. 522, Halle und Werkstatt
LAF	Lärmpegelmessung	Geb. 322, R 111 (vor Sanierung)
LIT	Lärmpegelmessung	Geb. 404, TAMARA
P/AV	Schadstoffmessung	Geb. 141, R 439 Lese- und Kopiergerät
PFT	Lärmpegelmessung	Einrichtung Einzelarbeitsplätze
VBW/HW	Lärmpegelmessung	Elektronenstrahl-Schweißanlage

Tab. 2/8: Protokollierte Lärmpegel-, Schadstoff- und Beleuchtungsmessungen

Die in Tab 2/8 aufgelisteten Messungen wurden protokolliert, da in allen Fällen technische oder organisatorische Maßnahmen erforderlich wurden. Darüber hinaus wurden zur Schadstoffüberwachung 27 Arbeitsplätze bzw. Bereiche meßtechnisch überprüft, an denen keine Überschreitungen der Grenzwerte festgestellt wurden. Eine Protokollierung konnte deshalb entfallen.

### 2.2.3 Die Gefahrstoffverordnung und ihre Auswirkungen auf die KfK

F. Merschroth, E. Windbühl

Mit dem Inkrafttreten der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) am 01.10.1986 wurden der Umgang mit gefährlichen Stoffen, ihre Zubereitungen und ihr Inverkehrbringen neu geregelt. Ziel dieser Verordnung ist der Schutz des Menschen vor Gesundheitsgefahren beim arbeitsbedingten oder sonstigen Umgang mit gefährlichen Stoffen. Diese Verordnung ersetzt die bisher gültige Arbeitsstoffverordnung. Die Giftverordnungen der Bundesländer bleiben nur noch insoweit in Kraft, als sie Regelungen über die Sachkunde, Anzeige und Erlaubnis für das Inverkehrbringen zugelassener Pflanzenschutzmittel enthalten. Vor ihrem Inkrafttreten wurde die GefStoffV mit den Mitgliedsstaaten der "Europäischen Gemeinschaft" abgestimmt. Gesetzliche Grundlage für den Erlass dieser Rechtsverordnung ist das Chemikaliengesetz vom 26. September 1980.

In der Verordnung wird der bisherige Begriff "Arbeitsstoff" durch die Bezeichnung "Gefahrstoff" ersetzt. Damit wird dem Tatbestand Rechnung getragen, daß die Verordnung nicht nur dem Arbeitsschutz dient. Der bisher verwendete Begriff "Einwirkung", dessen Auslegung in der Praxis oft zu Problemen geführt hat, wird durch den Begriff "Auslöseschwelle" ersetzt. Die Auslöseschwelle ist die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz oder im Körper, bei deren Überschreitung zusätzliche Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit erforderlich werden. Die einzelnen Grenzwerte werden wie bisher vom Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung, BAM, in den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) bekanntgegeben. Wesentlich klarer als bisher wurde die Verpflichtung des Arbeitgebers festgelegt, die gefährlichen Eigenschaften der von ihm verwendeten Produkte vor deren Einsatz im Betrieb zu ermitteln, die Gefahren am Arbeitsplatz festzustellen und zu beurteilen. Welche Maßnahmen zur Abwehr der Gefahren zu treffen sind, hat der Arbeitgeber zu regeln, bevor mit Gefahrstoffen umgegangen wird. Dazu gehört auch die Verpflichtung, die gefährlichen Stoffe wenn möglich durch ungefährliche oder weniger gefährliche Stoffe zu ersetzen. Die Hersteller von Gefahrstoffen haben diese Bemühungen durch Informationen zu unterstützen. Die Arbeitgeber sollen damit in die Lage versetzt werden, den Anforderungen der Verordnung gerecht zu werden und den Schutz der Beschäftigten zu gewährleisten.

Die Beteiligungsrechte der Betriebsärzte sind umfassender und weitergehend geregelt als dies bisher in anderen Rechtsvorschriften der Fall war. Der Betriebsrat kann über die vorgesehenen Maßnahmen hinaus zur Abwendung gesundheitlicher Schäden zusätzliche Maßnahmen vorschlagen und fordern. Sofern Messungen zur Ermittlung der Einhaltung von Grenzwerten, wie der Maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK), der Technischen Richtkonzentrationen (TRK) oder der Biologischen Arbeitsplatztoleranzwerte (BAT) durchgeführt werden, ist der Betriebsrat hierüber umfassend zu unterrichten. In die Aufzeichnungen ist ihm Einblick zu gewähren, Meßprotokolle sind ihm auf Verlangen auszuhändigen. Wird die Maximale Arbeitsplatzkonzentration oder der Biologische Arbeitsplatztoleranzwert nicht unterschritten und vom Arbeitgeber keine Abhilfe geschaffen, so kann sich der einzelne Arbeitnehmer auch unmittelbar an die zuständige Aufsichtsbehörde wenden. Bei Überschreitung der Toleranzwerte hat der Arbeitnehmer das Recht, die Arbeit zu verweigern, sofern für Leben oder Gesundheit eine unmittelbare Gefahr besteht. Aus der Ausübung dieser Rechte dürfen dem Arbeitnehmer keine Nachteile entstehen.

Die vorrangige Verpflichtung bei allen Schutzmaßnahmen besteht darin, die Arbeitsverfahren so zu gestalten, daß gefährliche Dämpfe, Gase und Schwebstoffe nicht frei werden und die Arbeitnehmer auch keinen Hautkontakt mit gefährlichen Stoffen bekommen. Sofern dies nicht möglich ist, ist der erforderliche Gesundheitsschutz durch Absauge-, Lüftungseinrichtungen oder persönliche Schutzausrüstungen sicherzustellen.

Der Gesundheitsvorsorge wird in der Verordnung ein hoher Stellenwert eingeräumt. So ergibt sich eine Meßpflicht, wenn gefährliche Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz nicht auszuschließen sind, und eine Pflicht zur arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung, wenn die Auslöseschwelle

für bestimmte Gefahrstoffe überschritten wird.

Die in § 16 GefStoffV festgelegte Ermittlungspflicht bezieht sich auf § 3, Nr. 3 des Chemikaliengesetzes, in dem festgelegt ist:

"Gefährliche Stoffe oder gefährliche Zubereitungen sind Stoffe oder Zubereitungen, die sehr giftig, mindergiftig, ätzend, reizend, explosionsgefährlich, brandfördernd, hoch entzündlich, leicht entzündlich, entzündlich, krebserzeugend, fruchtschädigend, erbgutverändernd oder wasergefährdend sind oder sonstige schädigende Eigenschaften besitzen".

Bei der großen Anzahl der in der KfK eingesetzten Stoffe sowie den zahlreichen Anwendern bzw. Laboratorien stellt schon die Ermittlungspflicht eine umfangreiche Aufgabe dar, da alle in der KfK verwendeten Chemikalien hinsichtlich des Verwendungszwecks und ihrer Gefährlichkeit überprüft werden müssen. Dazu müssen zunächst bei HS/TSB ca. 400 Stoffe und Stoffgemische als Vergleichsparameter für gefährliche Stoffe in die EDV-Anlage aufgenommen werden. Diese Zahl setzt sich wie folgt zusammen:

- 345 Stoffe oder Stoffgruppen entsprechend der MAK-Werte-Liste,
- 29 Stoffe oder Stoffgruppen, für die TRK-Werte festgelegt sind und
- 22 Stoffe oder Stoffgruppen, für die BAT-Werte bestehen.

Daneben gibt es noch Werte zur Beurteilung der Einwirkung für 44 Stoffe (darunter Auslöschwellen für 15 Stoffe), bei denen ein hohes krebserzeugendes Potential vorhanden ist und spezifische Einwirkungsdefinitionen der Berufsgenossenschaften (ZH 1/600) für 25 weitere Stoffe und Stoffgruppen.

Zur Erfassung der bereits vorhandenen Gefahrstoffe wurden von HS/TSB Listen vorbereitet, die den Laborverantwortlichen zur Auflistung aller in den einzelnen Labors vorhandenen Chemikalien ausgehändigt wurden bzw. werden. Die Bestandsaufnahme der Gefahrstoffe in den einzelnen Labors soll im ersten Quartal 1987 abgeschlossen werden. Als präventive Maßnahme ist eine rechnergestützte Auswertung aller durch die Hauptabteilung Einkauf und Materialwirtschaft bestellten Chemikalien erforderlich. HS/TSB hat deshalb veranlaßt, daß zukünftig alle über einen Beschaffungsauftrag von den einzelnen Organisationseinheiten bestellten und die vom Hauptlager an die Organisationseinheiten abgegebenen Chemikalien über die EDV-Anlage der OKD abgerufen und HS/TSB zur Verfügung gestellt werden. Mittels eines noch zu erstellenden EDV-Programmes können dann die gefährlichen Stoffe aus der gesamten Chemikalien-Beschaffung der KfK aussortiert werden. Anhand der damit gewinnbaren Informationen können weitere Maßnahmen entsprechend § 16 sowie § 18 GefStoffV (Überwachungspflicht) eingeleitet werden.

Zur Überwachungspflicht wird im § 18 GefStoffV gefordert:

"Ist das Auftreten gefährlicher Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz nicht sicher auszuschließen, so ist grundsätzlich zu ermitteln, ob die Werte für die Maximale Arbeitsplatzkonzentration unterschritten oder die Auslöseschwelle überschritten sind. Die Gesamtwirkung verschiedener gefährlicher Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz ist zu beurteilen. Wer Messungen durchführt, muß über die notwendigen Einrichtungen verfügen und die geforderte Sachkunde besitzen." Im Prinzip ist diese Forderung nicht neu, nur wurde sie so umfassend, konkret und deutlich bisher noch nicht formuliert.

Sicher auszuschließen ist das Auftreten eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz lediglich bei der Be- oder Verarbeitung in einer geschlossenen Anlage, was jedoch nur in seltenen Fällen möglich ist. Deshalb wird für die meisten Anwendungen von gefährlichen Arbeitsstoffen eine Ermittlung erforderlich werden. Der § 18 Abs. 1 GefStoffV spricht im ersten Satz ausdrücklich von "ermitteln" und nicht von "messen" und im zweiten Satz von einer "Ermittlungspflicht", die jedoch nicht mit der Ermittlungspflicht nach § 16 GefStoffV verwechselt werden darf. Hier soll ermittelt werden, ob Grenzwerte wie MAK, TRK, BAT oder Auslöseschwellen unter- bzw. überschritten werden. Dieser Ermittlungspflicht kann auf verschiedenen Wegen nachgekommen werden:

- durch Abschätzung der Stoffkonzentration aufgrund von Erfahrungen,
- durch Berechnung der Stoffkonzentration,
- durch Messung der Stoffkonzentration.

Bei der Auswahl der Ermittlungsmethode sollte stets der Grundsatz gelten, den Aufwand in vernünftigen Grenzen aber selbstverständlich so groß wie notwendig zu halten. Wenn Abschätzung oder Berechnung nicht zum Ziel führt, sind Messungen unumgänglich. Darüber hinaus kann beim Umgang mit gefährlichen Stoffen die zuständige Behörde eine meßtechnische Überprüfung verlangen.

Mit Wirkung vom 08.10.1986 wurden die TRGS 100 (Auslöseschwelle für gefährliche Stoffe) und die TRGS 402 (Ermittlung und Beurteilung der Konzentrationen gefährlicher Stoffe in der Luft in Arbeitsbereichen) neu erlassen.

In der TRGS 100 wird gefordert:

"Die Feststellung, ob die Auslöseschwelle über- oder unterschritten ist, erfolgt im Rahmen der Überwachung des TRK- bzw. MAK-Wertes nach TRGS 402". Die TRGS 402 regelt und beschreibt die Durchführung der meßtechnischen Arbeitsbereichsüberwachung. Hierbei steht im Vordergrund die Arbeitsbereichsanalyse, die sich aus 4 Teilen zusammensetzt:

1. Erfassung der Arbeitsstoffe (wie bereits beschrieben),
2. Beschaffung des Grundwissens. Hierzu gehört das Wissen über
  - die Tätigkeit,
  - die Anlage,
  - die Verfahrensweise,
  - die Schutzeinrichtungen,
  - die Lüftungseinrichtungen,
  - die Emissionsorte,
  - die Aufenthaltsdauer der Arbeitnehmer.
3. Beschaffung der Vorinformation. Sie ergibt sich aus
  - Expositionsmessungen vor Ort,
  - Messungen vergleichbarer Anlagen oder Tätigkeiten,
  - zuverlässigen Berechnungen.

#### 4. Kontrollmessungen

Die erste Kontrollmessung muß direkt im Anschluß an die Arbeitsbereichsanalyse erfolgen. Jede weitere Messung ist innerhalb des zeitlichen Abstandes, der durch das Ergebnis der letzten Messung festgelegt ist, durchzuführen. Dieser beträgt:

- 64 Wochen, wenn das Meßergebnis nicht größer als 1/4 des Grenzwertes ist,
- 32 Wochen, wenn das Meßergebnis größer als 1/4 aber kleiner als die Hälfte des Grenzwertes ist,
- 16 Wochen, wenn das Meßergebnis größer als die Hälfte des Grenzwertes aber nicht größer als der Grenzwert ist.

Liegen Meßergebnisse in der Nähe des Grenzwertes oder über dem Grenzwert oder ist die jeweilige Kurzzeitwertanforderung entsprechend der MAK-Wert-Liste nicht erfüllt, sind Maßnahmen zur Herabsetzung der Exposition durchzuführen.

Die Meßergebnisse und Arbeitsbereichsanalysen sind zu protokollieren und entsprechend § 18 GefStoffV dreißig Jahre aufzubewahren. Diese Protokolle müssen dem Betriebsrat zugänglich sein.

Eine Überschreitung der MAK- und TRK-Werte sowie der Auslöseschwelle muß laut § 21 GefStoffV

den betroffenen Mitarbeitern und dem Betriebsrat unverzüglich unter Angabe der dazu führenden Gründe mitgeteilt werden. Mitarbeiter und Betriebsrat sind über die zu treffenden Maßnahmen und gegebenenfalls auch zur Auswahl der geeigneten persönlichen Schutzausrüstung sowie den Bedingungen, unter denen sie zu benutzen sind, zu verständigen. Auch die Ergebnisse der Ermittlung und Beurteilung nach den §§ 16 und 18 müssen den betroffenen Mitarbeitern und dem Betriebsrat mitgeteilt werden.

Der § 20 GefStoffV fordert die Erstellung einer Betriebsanweisung, in der die beim Umgang mit Gefahrstoffen auftretenden Gefahren, die erforderlichen Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln festgelegt sind. Die Betriebsanweisung muß auch Anweisungen für die "Erste Hilfe" und das Verhalten im Gefahrfall enthalten.

Die Mitarbeiter müssen - bevor sie mit einem Gefahrstoff umgehen - eine arbeitsplatzbezogene Unterweisung über die Gefahren und die Schutzmaßnahmen erhalten. Diese Unterweisung ist mündlich durchzuführen und in jährlichem Abstand zu wiederholen. Inhalt und Zeitpunkt der Unterweisung sind schriftlich festzuhalten und von den Mitarbeitern durch Unterschrift zu bestätigen.

Jeder Mitarbeiter hat bei der Verwendung gefährlicher Stoffe und Zubereitungen die Verpflichtung, diese ordnungsgemäß zu verpacken und zu kennzeichnen. Aufgrund der vorausgesetzten Sach- und Fachkunde wurden für wissenschaftliche Institute und Laboratorien die Kennzeichnungsbestimmungen eingeschränkt. Danach müssen Stoffe oder Zubereitungen, die in einer für den Handgebrauch erforderlichen Menge im Labor vorhanden sind, mit folgenden Aufgaben versehen sein:

1. Bezeichnung des Stoffes, der Zubereitung und der Bestandteile der Zubereitung,
2. Entsprechendes Gefahrensymbol mit der zugehörigen Gefahrenkennzeichnung.

Die Kennzeichnung mit den Hinweisen auf besondere Gefahren (R-Sätze) sowie die Sicherheitsratschläge (S-Sätze) sind nicht erforderlich. Selbst diese eingeschränkte Kennzeichnung sowie die Ermittlung, Überwachung, Unterweisung, Unterrichtung, die Erstellung von Betriebsanweisungen usw. bedeutet für alle betroffenen Mitarbeiter eine beträchtliche Mehrarbeit.

#### 2.2.4 Unfallgeschehen

P. Meyer, E. Windbühl

1986 wurden dem Badischen Gemeindeunfallversicherungsverband Karlsruhe, dem für die KfK GmbH zuständigen Unfallversicherungsträger, 54 anzeigepflichtige Arbeitsunfälle gemeldet. Es wurden keine Anzeigen auf Verdacht einer Berufskrankheit erstattet. Nach § 1552 RVO besteht die Verpflichtung, binnen drei Tagen jeden Arbeitsunfall anzuzeigen, bei dem ein Beschäftigter getötet oder so verletzt wurde, daß er stirbt oder für mehr als drei Tage völlig oder teilweise arbeitsunfähig wird. Nach § 5 der Berufskrankheitenverordnung besteht Anzeigepflicht, wenn der begründete Verdacht auf das Vorliegen einer Berufskrankheit besteht.

Abb. 2/1 zeigt in einem Kreisdiagramm die anzeigepflichtigen Arbeitsunfälle, unterteilt nach Unfallarten. Bemerkenswert ist hierbei, daß der Anteil der nicht oder kaum beeinflussbaren Unfälle, wie Wegeunfälle, Unfälle bei der Teilnahme am innerbetrieblichen Verkehr und die Sportunfälle höher ist als der Anteil der Unfälle im Zusammenhang mit der betrieblichen Tätigkeit.

In Abb. 2/2 ist die Verteilung der anzeigepflichtigen Arbeitsunfälle auf die einzelnen Monate des Jahres 1986 dargestellt. Die hohe Anzahl der Arbeitsunfälle im Monat Januar resultiert im wesentlichen aus 3 Wegeunfällen und 4 Unfällen bei der Teilnahme am innerbetrieblichen Ver-

kehr, die sich ausnahmslos auf die extremen Wetterbedingungen in diesem Monat zurückführen lassen.

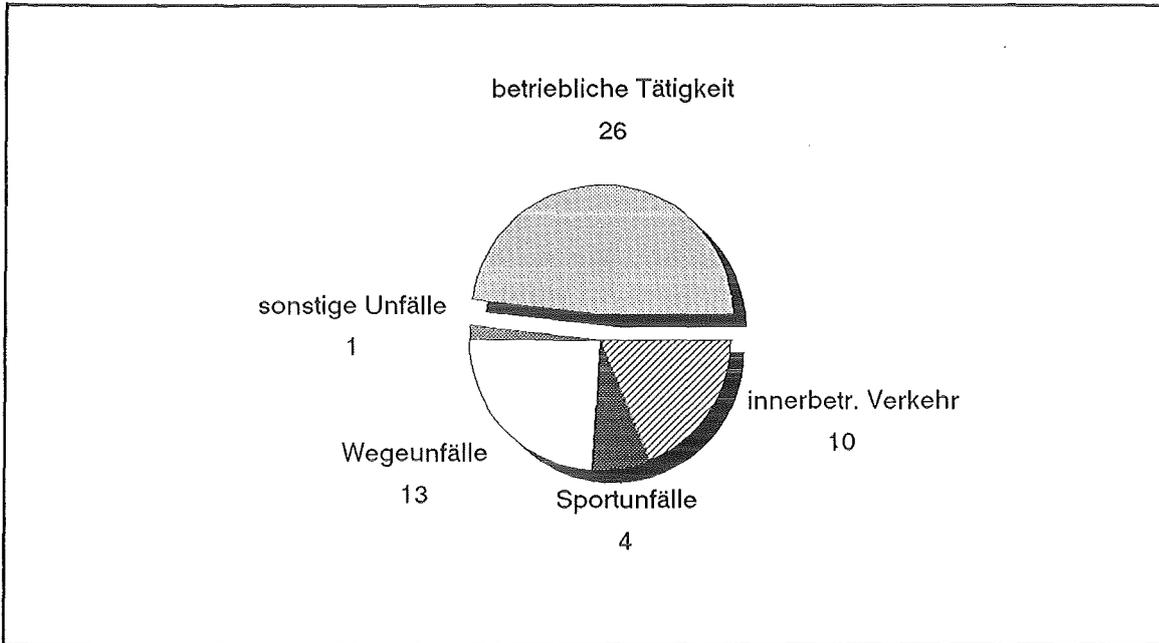


Abb. 2/1: Anzahl der anzeigepflichtigen Arbeitsunfälle 1986

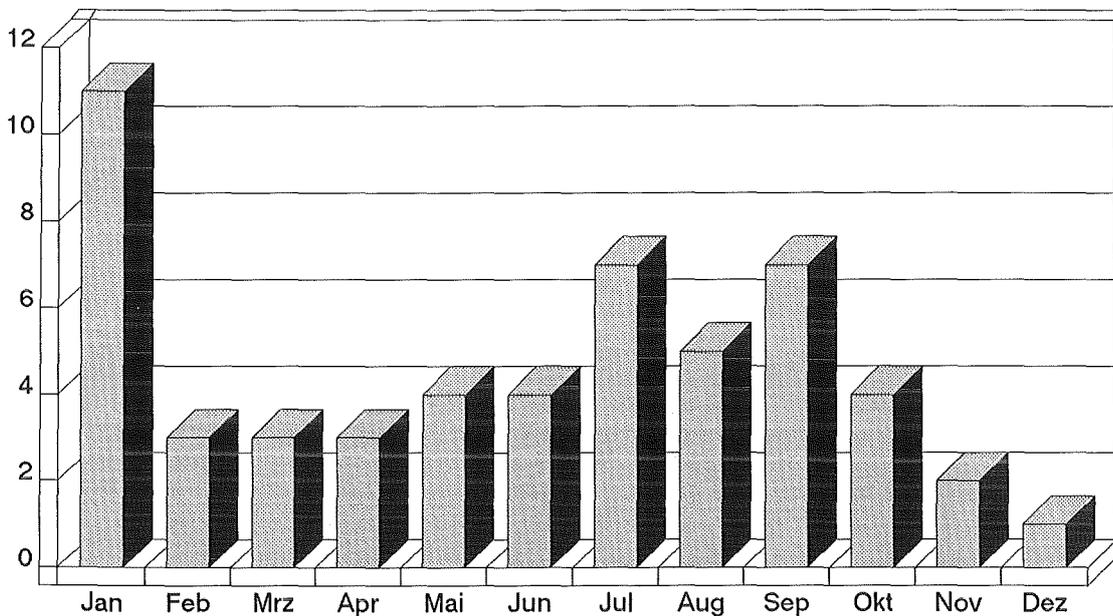


Abb. 2/2: Verteilung der anzeigepflichtigen Arbeitsunfälle auf die einzelnen Monate des Jahres 1986

Abb. 2/3 zeigt die Verteilung der Betriebsunfälle nach KfK-Arbeitsbereichen, integriert über die Jahre 1982 bis 1986. Es zeigt sich deutlich, daß die Werkstätten und die innerbetrieblichen Verkehrswege relativ unfallträchtig sind.

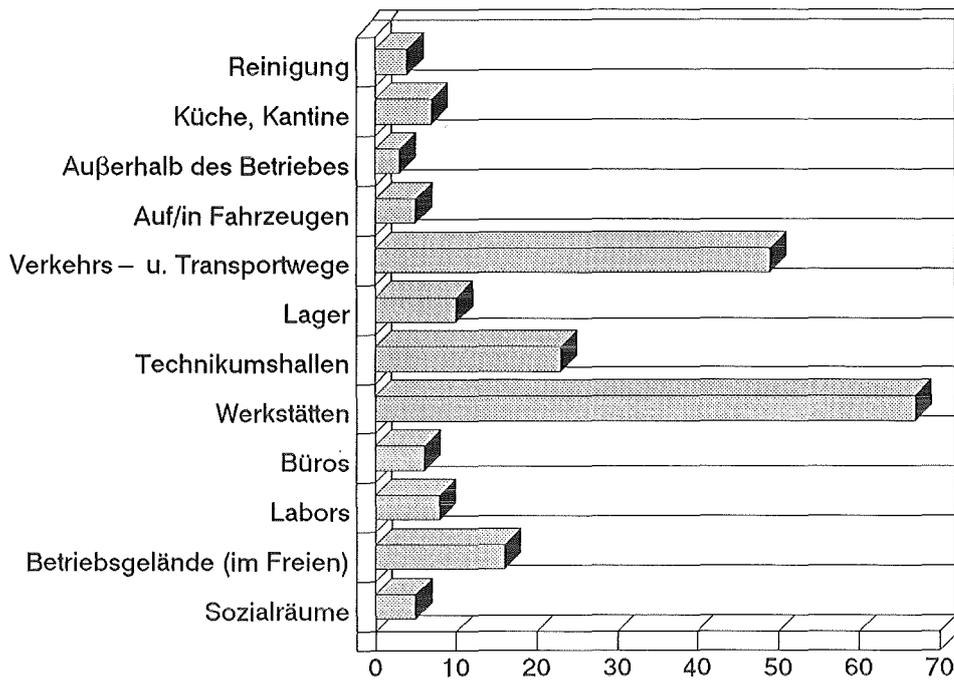


Abb. 2/3: Verteilung der Betriebsunfälle der KfK GmbH nach Arbeitsbereichen, integriert über die Jahre 1982 bis 1986

Abb. 2/4 zeigt für die Arbeitsunfälle insgesamt und für die Untergruppe der Betriebsunfälle (Arbeitsunfälle ohne Wegeunfälle und Sportunfälle) die Entwicklung des Unfallgeschehens der Jahre 1982 bis 1986.

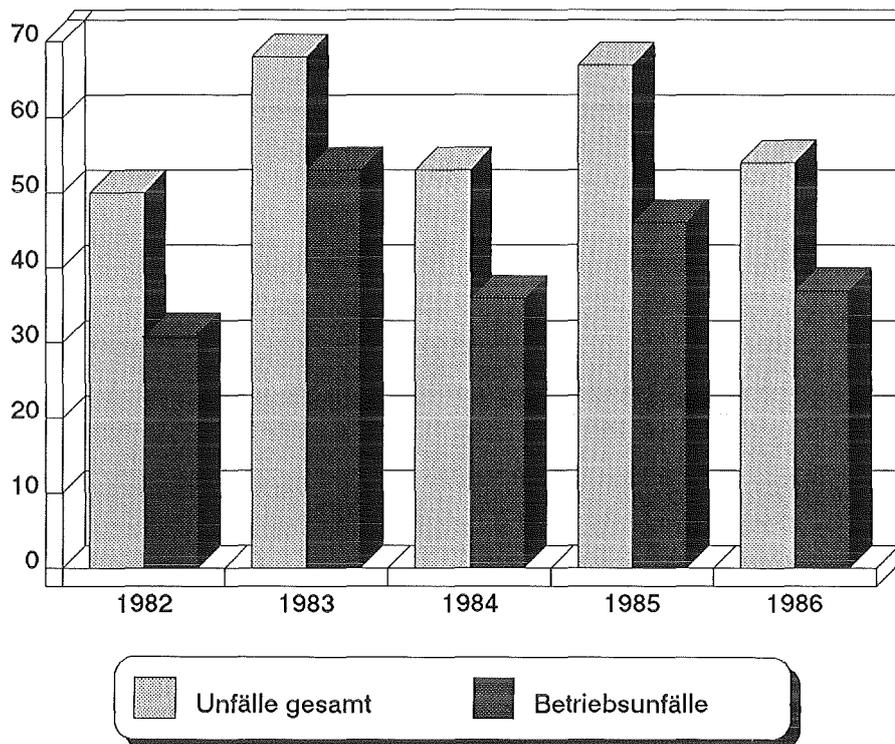


Abb. 2/4: Entwicklung des Unfallgeschehens der KfK GmbH von 1982 bis 1986

Absolute Unfallzahlen können aber noch keinen Hinweis auf die Höhe der Gefährdung und die Schwere der Unfälle geben. Entscheidend ist das Verhältnis zwischen der Zahl der Unfallereignisse und der Zahl der Beschäftigten oder der tatsächlich geleisteten Arbeitsstunden. Erst anhand dieser Verhältniszahlen kann man das Unfallgeschehen bewerten. Um dies darzustellen, aber auch um Vergleiche mit anderen Personengruppen ziehen zu können, sind mehrere Meßziffern entwickelt worden. Diese gestatten, Vergleiche mehrerer Tätigkeitsgruppen einer Organisationseinheit untereinander, Vergleiche mit Unternehmen derselben Branche oder Vergleiche mit anderen Wirtschaftszweigen durchzuführen. Tausend-Mann-Quote und Unfallhäufigkeit sind geeignete Maßstäbe zur Beurteilung der Wirksamkeit der Unfallverhütung in einem Betrieb. Diese allgemein gebräuchlichen Vergleichswerte werden nach den vom Internationalen Arbeitsamt empfohlenen Regeln ermittelt. Diese statistischen Meßziffern sind einschließlich ihrer Definition für das Unfallgeschehen der KfK GmbH des Jahres 1986 in Tab. 2/9 wiedergegeben. Dabei wurden für 1986 als durchschnittliche Anzahl der Mitarbeiter der KfK GmbH 4 053 und als Anzahl der tatsächlich geleisteten Arbeitsstunden pro Mitarbeiter und Jahr 1 700 zugrundegelegt. Zum Vergleich sind in dieser Tabelle auch die Unfallmeßziffern der KfK GmbH des Jahres 1985 wiedergegeben. Außerdem enthält die Tabelle die Unfallmeßziffern der gewerblichen Wirtschaft für 1984, die vom Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften veröffentlicht wurden.

Statistischer Begriff	Definition	Statistische Meßziffer		
		KfK GmbH 1985	KfK GmbH 1986	gewerbliche Wirtschaft 1985
Tausend-Mann-Quote	Zahl der anzeigepflichtigen Arbeitsunfälle (ohne Berücksichtigung der Wege- und Sportunfälle) bezogen auf 1 000 Beschäftigte	11,6	9,1	57,0
Unfallhäufigkeit	Zahl der anzeigepflichtigen Arbeitsunfälle (ohne Berücksichtigung der Wege- und Sportunfälle) bezogen auf 1 000 000 geleistete Arbeitsstunden	6,8	5,4	32,0

Tab. 2/9: Statistische Meßziffern zum Unfallgeschehen der KfK GmbH 1986

#### 2.2.5 Sicherheitsinformationen, Ausbildung und Sicherheitsnormen

H. Wilker, E. Windbühl, W. Winkelmann

Mit der "Allgemeinen Sicherheitsregelung" trifft die KfK GmbH Anweisungen, die die Sicherheit von Personen und Sachgütern auf dem Betriebsgelände des Kernforschungszentrums gewährleisten sollen und sich an alle Mitarbeiter richten.

1986 wurde erstmalig eine englische Fassung mit einer Auflage von 2 000 Stück gedruckt. Sie soll den vielen ausländischen Mitarbeitern helfen, sich schneller mit den Sicherheitsregelungen im KfK vertraut zu machen.

Voraussetzung für die Arbeitssicherheit ist der sicherheitstechnisch einwandfreie Zustand von

Betriebseinrichtungen, Maschinen, Apparaten, Geräten und sonstigen Einrichtungen sowie das sichere Verhalten der Mitarbeiter. Der Sicherheit im Betrieb dienen u. a. die Unfallverhütungsvorschriften (UVV) der gewerblichen Berufsgenossenschaften.

Besondere Beachtung wird den innerbetrieblichen Transportsystemen "Krane" und "Flurförderzeuge" zugemessen, weil erfahrungsgemäß bei der Bedienung dieser Geräte die Unfallgefahren besonders groß sind.

Leider wird im allgemeinen unterschätzt, welche wichtige Funktionen Kranführer, Anschläger und Führer von Flurförderzeugen in einem Betrieb innehaben. Sie tragen ein hohes Maß an Verantwortung für die in ihrem Tätigkeitsbereich beschäftigten Mitarbeiter, für die Geräte, die sie bedienen, und für das Material, das sie transportieren.

Bei der KfK GmbH werden die Tätigkeiten von Kranführern und Anschlägern meistens in Personalunion durchgeführt. Da eine große Anzahl der sog. "Kranunfälle" in Wirklichkeit auf schadhafte oder nicht geeignete Lastaufnahmeeinrichtungen, das sind Lastaufnahme-, Anschlag- und Transportmittel, zurückgeführt werden können, wird in der Kranführer- und Anschlägerausbildung die Unfallverhütungsvorschrift "Lastaufnahmeeinrichtungen im Hebezeugbetrieb" (VBG 9 a) besonders ausführlich behandelt.

Die Ausbildung wird von HS/TSB durchgeführt und schließt mit einer Qualifikationsprüfung ab. Im Jahre 1986 wurden 11 Mitarbeiter als Kranführer und Anschläger sowie 32 Mitarbeiter als Flurförderzeugfahrer ausgebildet (siehe Tab. 2/10).

Organisationseinheit	Kranführer und Anschläger	Flurförderzeugfahrer
EKM	-	2
HDB	-	7
INE	-	4
INFP	5	-
IK	1	-
IRB	-	4
ITP	1	-
KTB	1	2
VBW	-	1
sonstige Einrichtungen	3	12
Summe	11	32

Tab. 2/10: Anzahl der 1986 ausgebildeten Kranführer, Anschläger und Flurförderzeugfahrer

Um den Erfordernissen der VDE-Vorschriften 0104 und 0105 im Versuchsbetrieb zu entsprechen, wurde im Rahmen der innerbetrieblichen Fortbildung wieder ein Kurs zur Erlangung der Qualifikation "Unterwiesene Person" durchgeführt. In weiteren Kursen wurden Arbeits- und Brandschutz sowie Bildschirmarbeitsplätze behandelt.

Die mit Sicherheitsaufgaben betrauten Mitarbeiter hatten Gelegenheit, an externen Veranstaltungen teilzunehmen, die folgende Themen behandelten:

- Sicher arbeiten in der Fahrzeuginstandhaltung und betriebssichere Fahrzeuge bereitstellen,

- vom richtigen Umgang mit Arbeitsstoffen und neuen Vorschriften,
- gute und richtige Beleuchtung am Arbeitsplatz,
- analytische Betrachtungen zur Arbeitssicherheit bei der Störungsbehebung und Instandhaltung.

KfK-Sicherheitsnormen dienen der einheitlichen Regelung von sicherheitstechnischen Erfordernissen zur Abwendung von Gefahren und berücksichtigen spezielle Gegebenheiten der KfK. Sie werden von HS/TSB herausgegeben und sind Bestandteil des Ordners "Arbeitsschutzmerkblätter", Band 1. Nachfolgend aufgeführte KfK-Sicherheitsnormen wurden neu gefaßt und an die Organisationseinheiten sowie die Sicherheitsbeauftragten verteilt.

KfK-Norm	Thema	Ausgabe
6	Sicherheitskennzeichnung am Arbeitsplatz Fluchtwege-Gefahrenkennzeichnung	04/86
14	Zufahrten und Flächen für die Feuerwehr	05/85
15	Hinweisschild "Zufahrt und Fläche für die Feuerwehr"	04/85
16	Hinweisschild "Askarel"	05/85
17	Gefahrenmeldeanlagen	03/86

Tab. 2/11: Neufassung der KfK-Sicherheitsnormen

- KfK-Norm 6 ist die erweiterte Fassung einer bestehenden KfK-Norm, in der Verbots-, Gebots-, Hinweis- und Rettungszeichen neu aufgenommen wurden.
- Die KfK-Normen 14 und 15 regeln die Abmessungen, Belastbarkeit und Beschilderung von Zufahrten, Aufstell- und Bewegungsflächen für Einsatzfahrzeuge der Feuerwehr außerhalb der baulichen Anlagen des KfK.
- KfK-Norm 16 ist ein Gefahrenhinweis für die Einsatzkräfte auf Geräte oder Anlagen, in denen polychlorierte Biphenyle (Askarele) vorhanden sind.
- KfK-Norm 17 regelt Standort, Gestaltung und Ausstattung von Gefahrenmelde- und Parallelta-bleaus (siehe auch Kap. 2.4.4).

## 2.2.6 Arbeitsschutzausschuß

### E. Windbühl

Aufgrund von § 11 des Arbeitssicherheitsgesetzes hat der Arbeitsschutzausschuß die Aufgabe, Anliegen des betrieblichen Arbeitsschutzes zu beraten. In Erfüllung dieser Verpflichtung wurde der Ausschuß auch im Jahr 1986 einberufen. Hierbei wurden zahlreiche Probleme des Arbeitsschutzes, des Strahlenschutzes und des arbeitsmedizinischen Dienstes behandelt.

Themen waren u. a.:

- Bedingungen für die Beschäftigung von Fremdfirmenangehörigen, deren Arbeitgeber nicht im Besitz einer Genehmigung gemäß § 20 a StrlSchV sind (s. Kap. 2.1.5),
- Errichtung eines Pufferlagers für die Zwischenlagerung von inaktiven Entsorgungsgütern,
- Ausführregelungen für Bauschutt, Erdaushub, Straßenaufbruch,
- Verkehrsprobleme in der Nahzone des KfK bei Dienstbeginn und Dienstschluß,
- Sonderzufahrten für Radfahrer,
- Erste Hilfe bei Verletzungen während des Umgangs mit radioaktiven Stoffen,
- die neue Gefahrstoffverordnung, Ermittlungs- und Meldepflichten, medizinische Aspekte, Schutzmaßnahmen und Schutzrechte für die Arbeitnehmer,
- Alkohol am Arbeitsplatz.

## 2.3 Kernmaterialüberwachung

### 2.3.1 Gesetzliche Grundlagen und Struktur der Kernmaterialüberwachung der KfK

W. Burck

Grundlagen der Kernmaterialüberwachung sind die nachfolgend aufgeführten Gesetze, Verordnungen und Anordnungen deutscher sowie internationaler Behörden:

- Gesetz zu dem Vertrag vom 1. Juli 1968 über die Nichtverbreitung von Kernwaffen vom 4. Juni 1974 (BGBl. 1974, II, S. 785),
- Vertrag zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) vom 25. März 1957 (BGBl. 1957, II, S. 1 014),
- Verordnung Nr. 3227/76 der EURATOM-Kommission vom 19. Oktober 1976 (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 19. Jahrgang, Nr. L 363, 31. Dezember 1976),
- Besondere Kontrollbestimmungen der Kommission der Europäischen Gemeinschaften für die einzelnen Materialbilanzzonen der KfK,
- § 78 der Strahlenschutzverordnung vom 13. Oktober 1976 (BGBl. I, Nr. 125, S. 2 905),
- Umgangs-, Lager-, Betriebs- und Beförderungsgenehmigungen der atomrechtlichen Aufsichtsbehörden.

Die von EURATOM für die KfK festgelegten Materialbilanzzonen sind in Tab. 2/12 zusammengestellt.

Anlage	MBZ (EURATOM-Code)	Anlage	MBZ (EURATOM-Code)
KTB/FR 2	WF2K	IMF III	WKKA
KTB/HZ	WHZK	INR	WKVS
SUR 100	WSUR	IRCh	WRCH
IHCh	WKKB	IT	WKKT
IK I	WKKF	Laboratorien	WKKE
IKVT	W1KV		

Tab. 2/12: Materialbilanzzonen (MBZ) der KfK am 31.12.1986

In der Materialbilanzzone WKKE (Laboratorien) wurden 1986 die folgenden 12 Institute bzw. Teilinstitute zusammengefaßt: IMF I, IK III, SKT, INE, LAF I, INFP, IK III/RTM, IRB, IRE, IGT, EKM/TAB und HS.

Das gesamte Kernmaterial von der Anlage KTB/SNEAK und SUA (Siemens-Unterrichtsreaktor) wurde im ersten Halbjahr 1986 zum Teil an andere KfK-Einrichtungen und zum Teil nach außerhalb abgegeben. Ein Neuerwerb von Kernmaterial ist aufgrund neuer Forschungsvorhaben nicht zu erwarten. Deshalb wurden die Materialbilanzzonen WSNK und WSUA aufgelöst.

### 2.3.2 Inspektionen durch EURATOM und IAE0

W. Burck

1986 haben die Internationale Atomenergie Organisation, Wien, in Anwendung von Artikel 72 des NV-Vertrages und die EURATOM-Kommission, Luxemburg, in Anwendung von Artikel 82, Abs. 2 des EURATOM-Vertrages in der KfK zahlreiche Routine-Inspektionen, Inventuren und Buchprüfungen bei HS/TSB durchgeführt.

Aus Tab. 2/13 ergibt sich die Zuordnung dieser Inspektionen zu den verschiedenen inspizierten Anlagen.

Inspizierte Anlagen	Anzahl der Inventuren	Anzahl der Routineinspektionen	Anzahl der Buchprüfungen bei HS/TSB
KTB/FR 2	1	4	5
KTB/HZ	1	1	2
KTB/SNEAK	1	1	2
SUA	1	-	1
SUR 100	1	-	1
IHCh	1	1	2
IK I	1	1	2
IKVT	1	-	1
IMF III	1	-	1
INR	1	-	1
IRCh	1	-	1
IT	1	-	1
Laboratorien	1	-	1

Tab. 2/13: Anzahl der 1986 durchgeführten Inspektionen

Zur Durchführung dieser Inspektionen wurden von der IAE0 im Berichtsjahr 14 und von der EURATOM-Kommission 15 verschiedene Inspektoren eingesetzt. Alle Anlagen-Inspektionen wurden von HS/TSB vorbereitet.

Die Inspektoren der internationalen Behörden wurden - außer bei der Durchführung der permanenten Überwachungsmessungen in der SNEAK - bei allen Inspektionen vom zuständigen Sachbearbeiter von HS/TSB durch die zu kontrollierenden Anlagen begleitet. Über alle Inspektionen wurden interne Berichte verfaßt.

In den 13 Materialbilanzzonen der KfK wurde 1986 zu unterschiedlichen Zeitpunkten die Aufnahme der realen Bestände an Kernmaterial durch die jeweiligen Betreiber durchgeführt und durch IAEO und EURATOM überprüft. Der Arbeitsaufwand, der sich aus diesen Inventuren für die einzelnen Anlagen und die zentrale Buchhaltung bei HS/TSB ergab, war beträchtlich. Von HS/TSB bzw. von den der Inventur unterzogenen Anlagen der KfK waren hierzu im einzelnen zu liefern:

- Bestandsverzeichnisse mit dem von HS/TSB an EURATOM gemeldeten Buchbestand der einzelnen Anlagen am Prüfungstichtag,
- Aufstellungen des realen Bestandes an Kernmaterial, gegliedert nach den einzelnen Schlüsselmeßpunkten und Chargen,
- Inventurlisten der Schlüsselmeßpunkte mit Angabe der einzelnen Positionen,
- Materialbilanzberichte von HS/TSB mit den Angaben sämtlicher Bestandsänderungen von der vorangegangenen Inventur bis zum Prüfungstichtag,
- Bestandsänderungsberichte von HS/TSB mit Angabe und Berichtigungen der Differenzen zwischen dem Buchbestand und dem realen Bestand an Kernmaterial.

Festgestellte Mengendifferenzen beruhten in allen Fällen auf Neu-Messungen (NM) in den einzelnen Anlagen oder auf nicht verordnungskonformen Rundungen (RA) bei der betrieblichen Buchführung in den Anlagen. Der Kernmaterialbestand 1986 der 13 kontrollierten Materialbilanzzonen wurde durch die IAEO und EURATOM verifiziert.

### 2.3.3 Zentrale Buchhaltung zur Erfassung und Meldung von Kernmaterial

W. Burck

Die an der Erfassung und Überwachung des Kernmaterials beteiligten internen und externen Meldeinstanzen und die zugehörigen Meldewege wurden als Fließschema in Abb. 2/5 dargestellt.

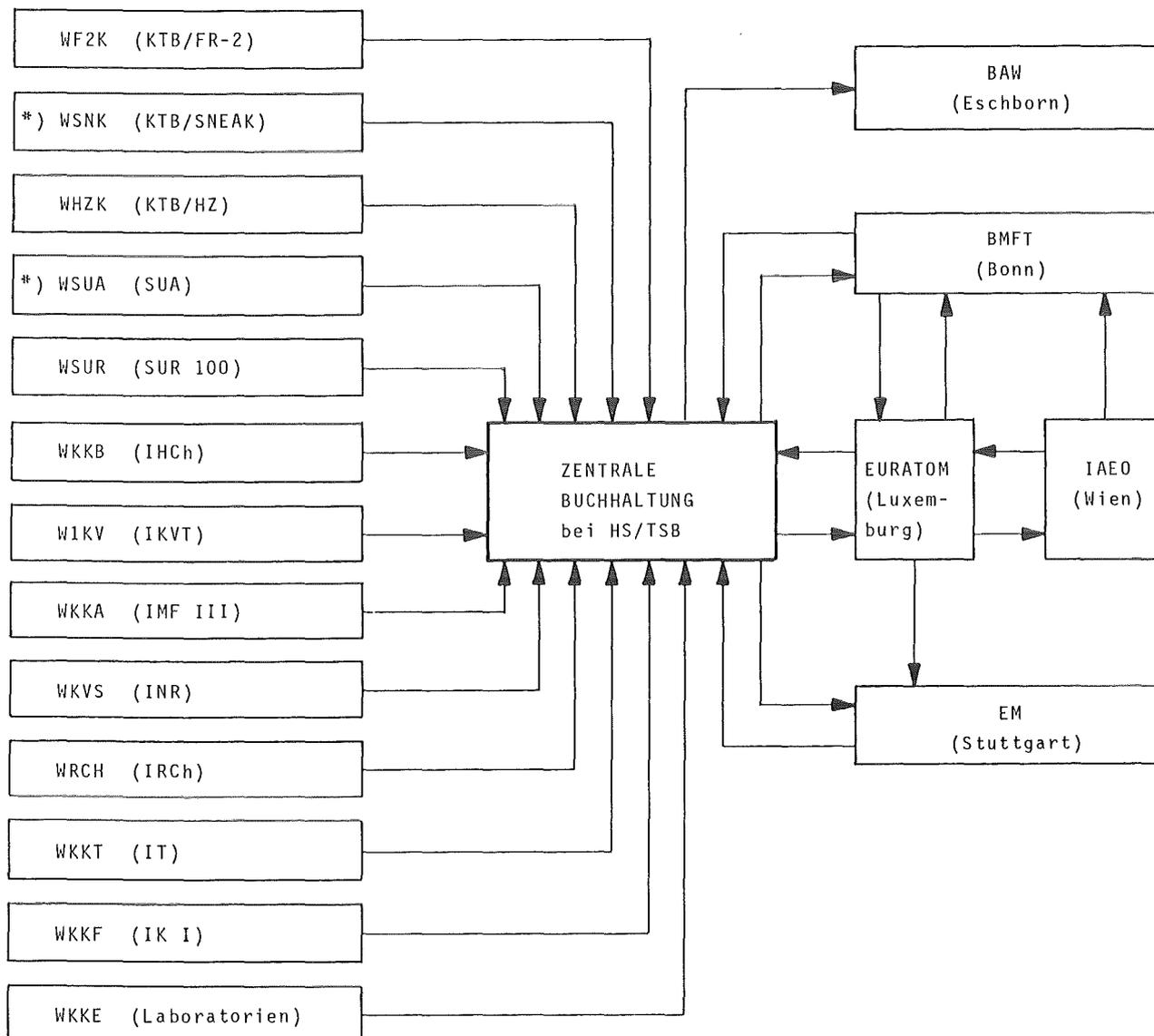
Entsprechend der Verordnung (EURATOM) Nr. 3227/76, Artikel 14, wurden von der zentralen Buchhaltung monatlich die Bestandsänderungen an Kernmaterial in computergerechter Form, getrennt nach Anlagen, Kategorie, Chargenbezeichnung und der jeweiligen Verpflichtung, erfaßt und den zuständigen Behörden gemeldet.

1986 wurden 342 Instituts- und Abteilungsmeldungen überprüft und 344 Belege (Lieferscheine) verbucht. Auf der Grundlage dieser Unterlagen wurden die externen Bestandsänderungsberichte an die Aufsichtsbehörden erstellt. 1986 waren dies 849 Einzelberichte an EURATOM, Luxemburg. Kopien dieser Berichte erhielten das Bundesamt für gewerbliche Wirtschaft (BAW), Eschborn, und das Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten, Baden-Württemberg (EM), Stuttgart.

Zur Erstellung der monatlichen Bestandsänderungsberichte waren folgende Arbeitsvorgänge erforderlich:

- Überprüfung und Buchung aller KfK-internen und externen Bestandsänderungen entsprechend den Lieferscheinen,
- Übertragung der einzelnen Vorgänge vom Klartext in computergerechte Form unter Anwendung der Codierung nach der genannten EURATOM-Verordnung in das Bestandsänderungsbuch,
- Berichtigung der monatlichen Bestandsverzeichnisse der einzelnen Anlagen auf den jeweiligen neuesten Stand,
- Überprüfung und Abstimmung der KfK-internen Bestandsänderungsberichte der einzelnen Anlagen,
- Schriftverkehr mit KfK-internen Institutionen und mit EURATOM.

EURATOM-Code der MBZ  
und überwachte Anlage



\*) Diese Materialbilanzzone wurde im ersten Halbjahr 1986 aufgelöst

Abb. 2/5: Meldeinstanzen und Meldewege zur Kernmaterialerfassung

### 2.3.4 Zentrale Buchhaltung zur Erfassung und Meldung sonstiger radioaktiver Stoffe

W. Burck

Aufgrund der sich aus § 78 der StrlSchV und aus speziellen behördlichen Auflagen ergebenden Buchführungs- und Anzeigepflichten müssen in bestimmten Zeitintervallen den zuständigen Behörden Gewinnung, Erzeugung, Erwerb und sonstiger Verbleib von radioaktiven Stoffen angezeigt werden.

Diese Meldeverpflichtung wird zentral für die KfK GmbH durch das Technische Sicherheitsbüro wahrgenommen. Der Umfang der erforderlichen Berichterstattung an deutsche Aufsichtsbehörden und über das Schwerwasser an EURATOM wurde in Tab. 2/14, aufgeschlüsselt nach Berichtsemp-

fängern, Anzahl und Art der Berichte, dargestellt. Zur Durchführung dieser Aufgabe sind entsprechende Meldungen von den Strahlenschutzbeauftragten der einzelnen Organisationseinheiten an das Technische Sicherheitsbüro erforderlich.

Art der Berichte	Anzahl der Berichte und Berichtsempfänger			
	EURATOM	EM	GAA	Gesamt
Monatsberichte				
- Erwerb, Erzeugung und Abgabe			12	12
- Bestand an Schwerwasser	12			12
Halbjahresberichte				
- Erzeugung radioaktiver Stoffe		2	2	4
- Zugang an radioaktivem Abfall		2	2	4
Jahresberichte				
- Bestand an offenen radioaktiven Stoffen		1	1	2
- Bestand an umschlossenen radioaktiven Stoffen		1	1	2
- Bestand an radioaktivem Abfall		1	1	2
- Bestand an Schwerwasser		1	1	2
Gesamt	12	8	20	40

Tab. 2/14: Umfang der Berichterstattung 1986

Verantwortlich für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Pünktlichkeit der KfK-internen Meldungen von radioaktiven Stoffen an HS/TSB ist der Strahlenschutzbeauftragte der jeweiligen Organisationseinheit der KfK GmbH. Die erforderlichen Formblätter zur Erstellung der einzelnen Meldungen werden jeweils termingerecht von HS/TSB allen Instituten/Abteilungen zugesandt. Abb. 2/6 zeigt, in welcher Form z. B. sonstige radioaktive Stoffe bei den Organisationseinheiten erfaßt und an das Technische Sicherheitsbüro gemeldet werden.

Meldung über Erwerb, Gewinnung, Erzeugung und Abgabe radioaktiver Stoffe — ausgenommen Kernmaterial *						Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH		
Umgangsgenehmigung Nr. LU/10/100		Monatsmeldung <u>Dezember</u> <u>1986</u> gem. § 78 der StrISchV				Org.-Einheit <u>XYZ</u> Unterschrift _____		
Nuklid	Offene radioaktive Stoffe Aktivität In Bq	Anzahl der Posten	Umschlossene radioakt. Stoffe Aktivität In Bq	Anzahl der Posten	Lieferant	Erzeuger	Empfänger	Bemerkungen
Co - 57	1,45 E 05	2					Fa. Schulze	
Sr - 90	3,42 E 07	1			Fa. Müller			

Abb. 2/6: Beispiel einer Meldung an das Technische Sicherheitsbüro

### 2.3.5 Erfassung und Überwachung von Kernmaterialtransporten

W. Burck

Zu den Aufgaben der zentralen Buchhaltung gehört auch die Überwachung von Kernmaterialtransporten. Alle KfK-externen Transporte werden bei Eingang von der Güterkontrolle und bei Ausgang vom jeweiligen Absender der zentralen Buchhaltung bei HS/TSB gemeldet. Für die KfK-internen Transporte und ihre Abwicklung gilt seit Juli 1983 die "Transportordnung der KfK für den internen Transport radioaktiver Stoffe". Die Anzahl der 1986 überwachten Kernmaterialtransporte und ihre Zuordnung zu den verschiedenen Kernmaterialkategorien zeigt Abb. 2/7.

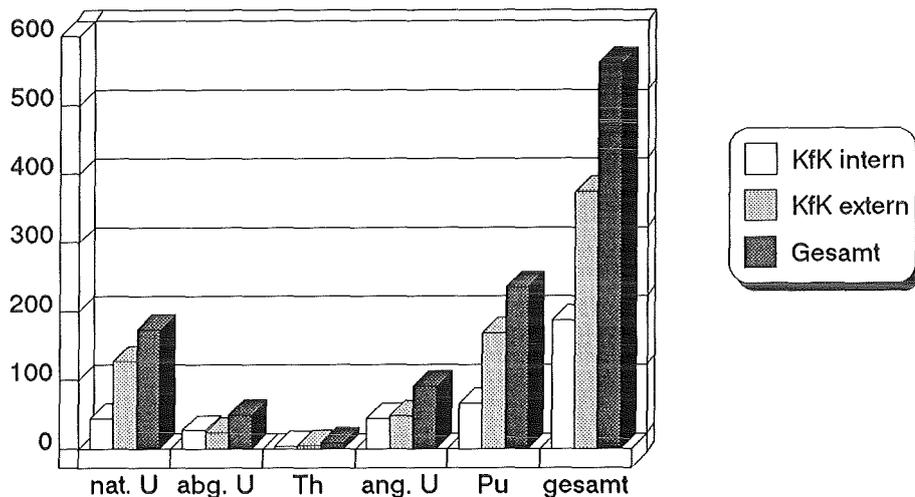


Abb. 2/7: Anzahl der Kernmaterialtransporte 1986, geordnet nach Materialkategorien

### 2.4 Einsatzplanung für Störfälle und Unfälle und Einsatzleitung

#### 2.4.1 Der Einsatzleiter vom Dienst

H.-A. Ammermann

Der Einsatzleiter vom Dienst (EVD) übernimmt im Alarmfall die Einsatzleitung. Er kann einen Einsatzstab berufen, der ihn fachlich über die zu treffenden Einsatzmaßnahmen berät. Nach den Bestimmungen des KfK-Alarmplanes ist der EVD verantwortlich für die Durchführung aller Maßnahmen, die bei drohender Gefahr, Personenschäden, Brandunfällen, Strahlenunfällen oder sonstigen Schadensfällen zur Hilfeleistung und zur Wiederherstellung der technischen Sicherheit durch die Sicherheitsorganisation der KfK (s. Abb. 2/8) ergriffen werden müssen.

Weitere Aufgaben des Einsatzleiters vom Dienst sind:

- Koordination bei sicherheitstechnisch bedeutsamen Ereignissen, Störfällen und Unfällen und Meldung an die atomrechtlichen Aufsichtsbehörden (s. Kap. 2.4.5),
- Alarmierung der Katastrophenmeldestelle (Regierungspräsidium Karlsruhe) gemäß dem besonderen Katastropheneinsatzplan für die KfK GmbH,
- Meldung von besonderen Vorkommnissen bei der Abwasserbeseitigung an das Wasserwirtschaftsamt, Gewerbeaufsichtsamt und den Wirtschaftskontrolldienst,
- Erstellung von Einsatzberichten,
- Durchführung von Alarmübungen, in denen die Alarmierung der Einsatztrupps, deren Verfügbar-

- keit, Ausrüstung, Belastbarkeit und Einsatzbereitschaft überprüft und aufgetretene technische und organisatorische Mängel in Schwachstellenanalysen aufgezeigt werden (s. Kap. 2.4.3),
- Sammlung der Gebäudepläne und der Brandbekämpfungspläne von den Einrichtungen der KfK und der Fremdinstitutionen für die Einsatzkräfte und die Aufsichtsbehörden,
  - Beschaffung von Einsatzunterlagen über Funktion und Betriebsweise von Versuchsanlagen und technischen Einrichtungen.

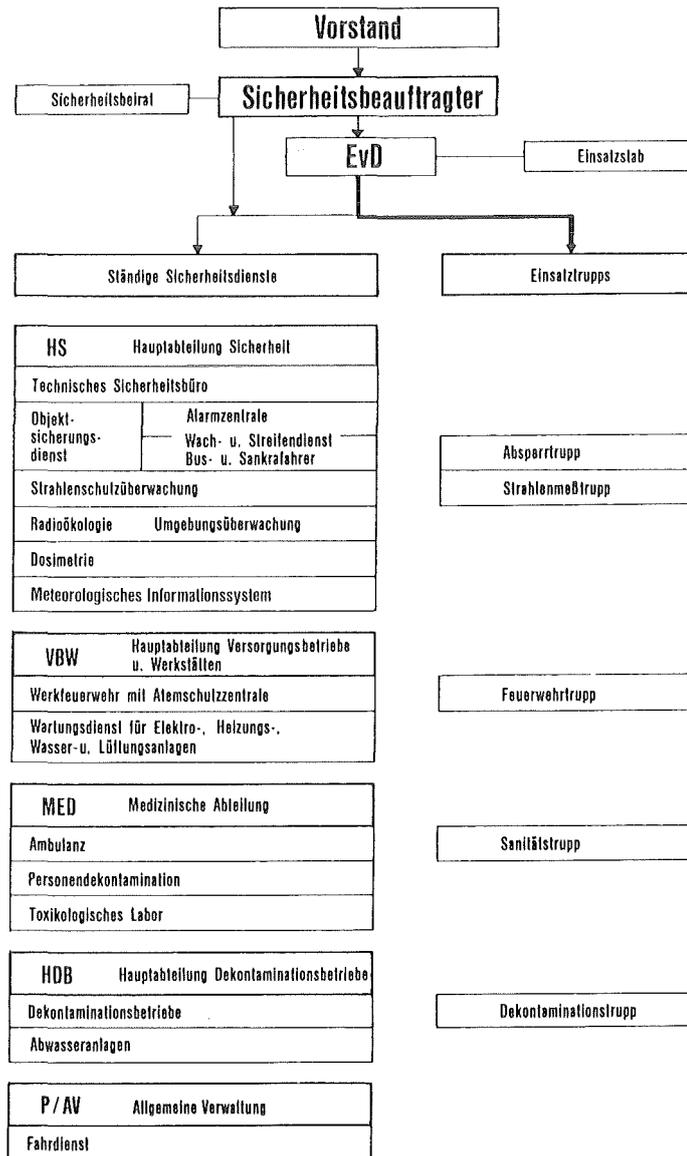


Abb. 2/8: Die Sicherheitsorganisation der KfK GmbH

Die Mitglieder der Einsatztrupps sind im Alarmfall dem EvD unterstellt. Sie setzen sich in der Regel aus dem Personal der ständigen Sicherheitsdienste zusammen. Die Leiter der jeweiligen Organisationseinheiten sind für die Ausbildung und Ausrüstung der Einsatztrupps verantwortlich.

Für die Einsatztrupps bestehen Pläne, in denen Aufgaben, personelle Zusammensetzung, Ausrüstung und Ausbildung festgelegt sind. Für die Erstellung und ggf. erforderliche Ergänzung dieser Pläne ist der Truppführer in Zusammenarbeit mit dem EvD verantwortlich.

Schutzkleidung und für den Einsatz erforderliches Material und Gerät werden in besonderen, den einzelnen Trupps zugeordneten Räumen bereitgestellt und gewartet. Den einzelnen Trupps stehen, soweit erforderlich, spezielle Kraftfahrzeuge zur Verfügung.

Während der regulären Arbeitszeit liegen die normalen Truppstärken der verschiedenen Einsatztrupps fest. Außerhalb der regulären Arbeitszeit wird eine Mindest-Truppstärke sichergestellt, die durch Rufbereitschaftsdienste ergänzt wird.

Die Kommunikation der Einsatzleitung mit den Einsatzdiensten und den Einsatztrupps erfolgt für die unterschiedlichen Personenkreise über Handfunkgeräte im Meterwellenbereich (2 m-Band) mit den Bezeichnungen "TESI", "KEFO" und "ALDI".

Mit der Neuinstallation der Sprechfunkanlage "BOS" (Behörden-Organisation-Sicherheit), die ebenfalls im Meterwellenbereich (4 m-Band) arbeitet, wird die Kommunikation mit folgenden externen Leitstellen der Sicherheitsorganisation möglich:

- Polizei,
- Regierungspräsidium Karlsruhe, Katastrophenmeldestelle,
- Feuerwehr-Überlandhilfe (Leitstellen Ettlingen und Bruchsal),
- Rettungsdienste,
  - Deutsches Rotes Kreuz,
  - Malteser Hilfsdienst,
  - Arbeiter-Samariter-Bund,
- Technisches Hilfswerk.

Die Inbetriebnahme der Sprechfunkanlage "BOS" wird im ersten Halbjahr 1987 erwartet.

#### 2.4.2 Analyse der EvD-Einsätze

G. Kohn, P. Meyer

Im Berichtsjahr 1986 fielen in der Alarmzentrale ca. 3 300 Meldungen an, die registriert und bearbeitet wurden. Hiervon erforderten 338 Meldungen einen Einsatz des EvD, um die Wiederherstellung der technischen Sicherheit durchzuführen oder anzuordnen, d. h. jede zehnte Meldung an die AZ machte einen Einsatz des EvD erforderlich.

Als EvD-Einsätze zählen alle Vorgänge, bei denen sich der EvD aufgrund einer Alarmierung ohne Ansehen des Alarmierungsgrundes zum Einsatzort begibt. Die Einsatzzeit ist die dabei am Einsatzort verbrachte Zeit zuzüglich Fahrzeit. Die Einsatzzeit enthält dagegen nicht den Zeitaufwand für Folgetätigkeiten nach dem Einsatz, der insbesondere nach Stör- und Schadensfällen erheblich sein kann. Die Einsatzkräfte der KfK reichten ohne Ausnahme zur Beseitigung eingetretener Störungen und zur Beherrschung von Zwischen- und Schadensfällen aus und waren dafür auch ausreichend ausgerüstet. Die Inanspruchnahme externer Hilfsdienste war in keinem Fall erforderlich.

Wie die in Tabelle 2/15 wiedergegebene Jahresstatistik der EvD-Einsätze zeigt, erhöhte sich die Anzahl der Einsätze im Jahr 1986 erstmals auf über Dreihundert. Dies entspricht einem prozentualen Anstieg von ca. 20 % gegenüber dem Vorjahr.

Mit ein Grund für die hohen Einsatzzahlen im Berichtsjahr ist sicherlich, daß die Alarmzentrale in der Zeit vom 15. Juli bis zum 15. September versuchsweise alle eingegangenen Meldungen, die einen Einsatz der Wartungsdienste verursachten, dem EvD übermittelte. Hierdurch kam es, daß der EvD auch dann ausrückte, wenn seine persönliche Präsenz am Ort des Geschehens

vielleicht entbehrlich gewesen wäre. Allerdings bieten dem EvD gerade solche "Bagatteleinsätze" stets Informationen aus erster Hand und verbessern zugleich seine Orts- und Anlagenkenntnisse. Während dieser zweimonatigen Versuchsphase zog ungefähr jede vierte in der Alarmzentrale eingegangene Meldung einen Einsatz des EvD nach sich.

Festzustellen ist, daß die Einsatzhäufigkeit außerhalb der normalen Arbeitszeit relativ stark gestiegen, die Einsatzzahlen während der normalen Arbeitszeit annähernd gleich geblieben sind.

Jahr	1982	1983	1984	1985	1986
Anzahl der Einsätze	281	288	265	288	338
Gesamteinsatzzeit in Stunden	210	204	167	177	194
Mittlere Einsatzdauer in Stunden	0,75	0,70	0,63	0,61	0,57
Anzahl der Einsätze während der normalen Arbeitszeit	71	90	112	103	112
Anzahl der Einsätze außerhalb der normalen Arbeitszeit	210	198	153	185	226
Alarmübungen	$\frac{\text{KfK}}{\text{WAK}}$	15	13	9	3
					5
					3
					7

Tab. 2/15: EvD-Einsätze 1982 bis 1986

Abb. 2/9 zeigt die Tagesstatistik der EvD-Einsätze. Außerhalb der normalen Arbeitszeit waren rund doppelt soviele Einsätze zu leisten wie während der normalen Arbeitszeit.

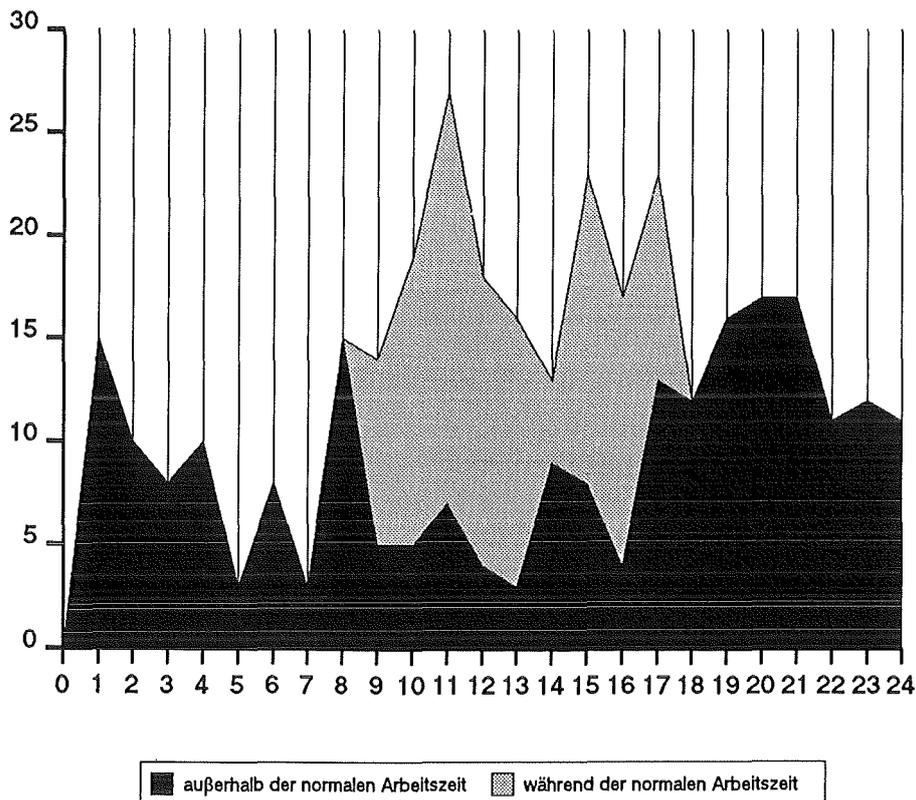


Abb. 2/9: EvD-Einsätze 1986, geordnet nach Tageszeiten

In Abbildung 2/10 werden die Einsätze des EvD, aufgeschlüsselt nach ihren Alarmierungsursachen, dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, welche Einsatzarten für den Anstieg der Gesamteinsätze verantwortlich sind. Blieb die Anzahl der Einsätze aufgrund von Feuer-, Aktivitäts- und Aktivitätsfehlalarmen in den letzten Jahren annähernd konstant, und gingen die Einsätze wegen Sandfang- und Sandfangfehlalarmen sogar leicht zurück, so erhöhten sich die Einsatzzahlen aufgrund "Technischer Hilfeleistungen", "Feuerfehlalarmen" und "Wasserstörungen" erheblich. Die drei letztgenannten Alarmierungsursachen haben im Berichtsjahr einen prozentualen Anteil an den Gesamteinsätzen von ca. 75 %. Die Tabelle 2/16 ermöglicht eine differenziertere Betrachtung der Ursachen für diese Einsätze.

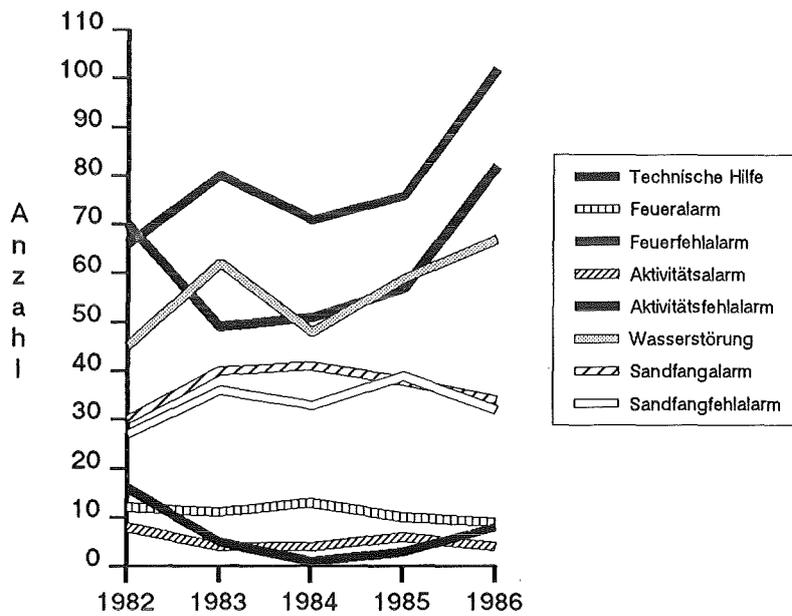


Abb. 2/10: Ursachen der EvD-Einsätze 1982 - 1986

Ursache	Einsatzart		
	Technische Hilfeleistung	Feuerfehlalarm	Wasserstörung
Medienversorgung	39	-	27
Abwassersystem	13	-	12
Regenwassereinbruch	14	1	4
Versuchsstörungen	16	5	14
Unfälle	6	-	-
Chemikalienfreisetzung	14	-	-
Montage-, Sanierungs- und Umbauarbeiten	-	56	-
unbekannt	-	20	10

Tab. 2/16: Ursachen für Technische Hilfeleistungen, Feuerfehlalarme und Wasserstörungen

Unter den Sammelbegriff "Technische Hilfeleistung" fallen alle Maßnahmen, die im weitesten Sinn zur Wiederherstellung der technischen Sicherheit dienen. Hierzu gehören z. B. Einsätze aufgrund von Störungen und Ausfällen der Medienversorgung (Gas, Wasser, Druckluft, Dampf), des Abwassersystems und von Versuchseinrichtungen oder aber Einsätze zur Beseitigung von Öl oder verschütteten Chemikalien, soweit sie eine wenigstens indirekte sicherheitstechnische Bedeutung haben.

Die Alarmart "Wasserstörung" beinhaltet sämtliche Einsätze, die aufgrund von Leckagen oder Störungen zu einem Wasseraustritt in dafür nicht vorgesehene Systeme führen und ein Eingreifen des EvD erforderlich machen. Da hierbei ebenfalls in den meisten Fällen technische Hilfsmaßnahmen durchzuführen sind, ist oft eine klare Abgrenzung von der Alarmursache "Technische Hilfeleistung" nicht möglich. Die beiden werden daher im folgenden gemeinsam betrachtet.

Rund die Hälfte aller EvD-Einsätze im Jahr 1986 wurden hervorgerufen durch die Alarmierungsursachen "Technische Hilfeleistung" und "Wasserstörung". 80 % dieser Einsätze erfolgten außerhalb der normalen Arbeitszeit. Der Grund hierfür dürfte darin liegen, daß während der normalen Arbeitszeit Defekte schon vom Betriebspersonal erkannt und mit Hilfe der Wartungsdienste behoben werden. Außerhalb der normalen Arbeitszeit können sich jedoch durch solche Defekte Störungen oder gar Ausfälle ergeben, die einen Einsatz des EvD erforderlich machen. Diese Deutung wird auch von der Darstellung der nach Kalendermonaten geordneten EvD-Einsätze 1986 in Abb. 2/11 und der Einsatzursachen in Abb. 2/12 gestützt. Die Urlaubszeit Juni bis September zeigt mit Abstand die höchsten Einsatzzahlen. Zwei Drittel aller Einsätze zur "Technischen Hilfeleistung" fanden in diesem Zeitraum statt.

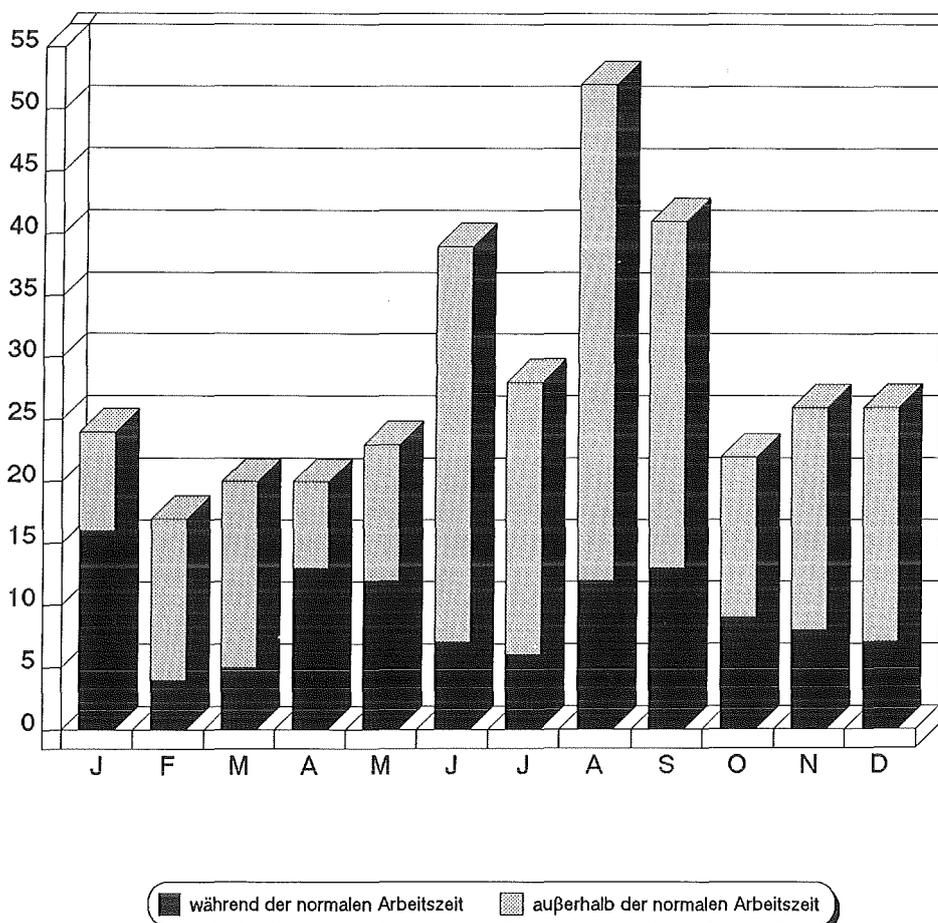
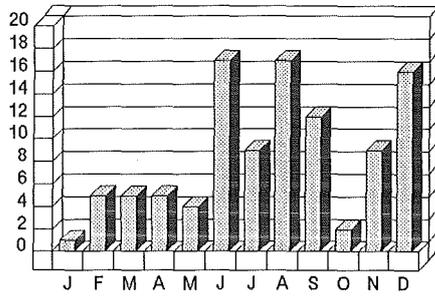
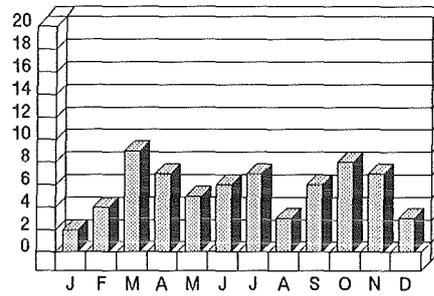


Abb. 2/11: Verteilung der EvD-Einsätze auf die Monate des Jahres 1986

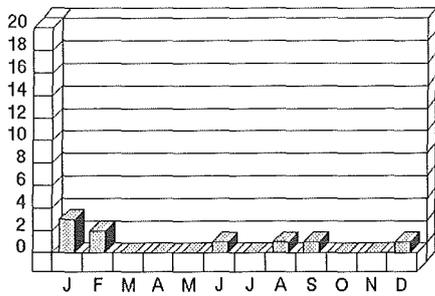
Technische Hilfe



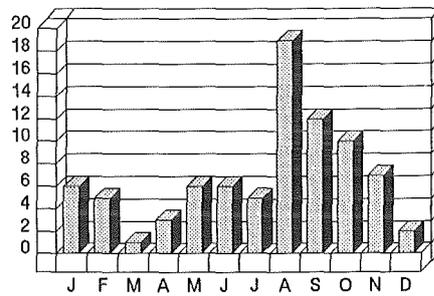
Wasserstörung



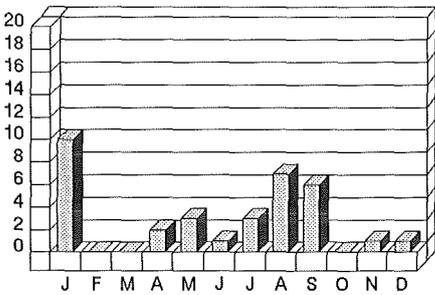
Feueralarm



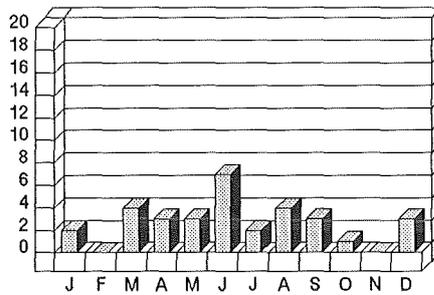
Feuerfehlalarm



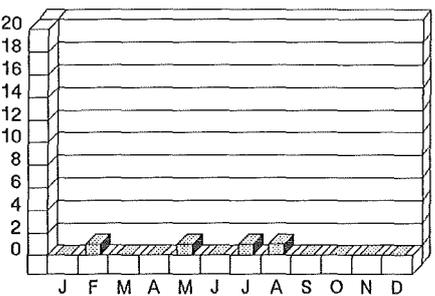
Sandfangalarm



Sandfangfehlalarm



Aktivitätsalarm



Aktivitätsfehlalarm

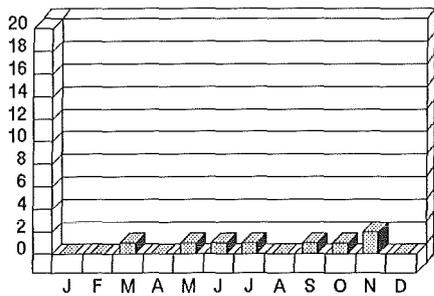


Abb. 2/12: Ursachen der EvD-Einsätze im Jahr 1986

Die durch Feuerfehlalarme verursachten Einsätze haben sich im Berichtsjahr fast verdoppelt und machten 1986 ungefähr 24 % aller EvD-Einsätze aus. Knapp drei Viertel dieser Fehlalarme wurden ausgelöst durch Montage-, Umbau- oder Sanierungsarbeiten. Die bei diesen Tätigkeiten angefallenen Schweiß-, Schleif- oder Trennarbeiten verursachten einen so hohen Staubanfall, daß Ionisationsmelder ansprachen. Gleichzeitig wurde in der Mehrheit dieser Fälle versäumt, die Alarmzentrale von bevorstehenden Arbeiten der genannten Art zu unterrichten. Da die betreffenden Meldelinien der automatischen Brandmeldeanlagen, wie bei solchen Arbeiten normalerweise üblich, nicht abgeschaltet wurden, erfolgte somit eine Alarmierung der Einsatzkräfte. Bei den restlichen Feuerfehlalarmen konnte von den Einsatzkräften keine direkte Ursache ermittelt werden.

#### 2.4.3 Alarmübungen

G. Kohn, W. Winkelmann

Aufgabe der Einsatzdienste ist es, die zur sofortigen Gefahrenabwehr notwendigen Maßnahmen durchzuführen, um den Schaden für Mensch und Umwelt so gering wie möglich zu halten. Zu diesem Zweck unterhält das Kernforschungszentrum Karlsruhe ständige Einsatzdienste, die im Bedarfsfall durch Einsatztrupps verstärkt werden können.

Insbesondere bei der Rettung von Personen, aber auch bei der Beseitigung auftretender Störungen, kann in der Regel durch schnelles, sachgerechtes Eingreifen größerer Schaden vermieden werden. Um diesen Aufgaben gerecht zu werden, sind gemeinsame Übungen der Einsatzdienste unerlässlich. Daneben erfüllen Alarmübungen die Aufgabe, die Alarmierung der Einsatzkräfte, deren Verfügbarkeit, Ausrüstung und gemeinsames Operieren sowie die Kommunikationsmittel zu erproben. Anschließende Analysen geben Aufschluß über Schwachstellen.

Im Berichtsjahr wurden zwei vom EvD geplante Alarmübungen in Zusammenarbeit mit den zuständigen Mitarbeitern der ausgewählten Institute und den verschiedenen Einsatztrupps und ständigen Einsatzdiensten veranstaltet. Daneben wirkten der Einsatzleiter und die Einsatzkräfte des KfK an zahlreichen Alarmübungen mit, die von den verschiedenen Fremdinstituten auf dem Gelände der KfK, von der Werkfeuerwehr sowie einzelnen Instituten aufgrund von Genehmigungsaufgaben durchgeführt wurden.

Die Abläufe der beiden vom EvD veranstalteten Alarmübungen wurden erstmals mit einer Videokamera aufgezeichnet. Solche Videoaufzeichnungen stellen eine sehr gute Diskussionsgrundlage für die im Anschluß an die Alarmübungen stattfindenden Übungsbesprechungen dar.

Alarmübung I/86 fand im Institut für Radiochemie statt. Als Unfallszenario wurde ein Lösungsmittelbrand mit anschließendem Zerknall einer Druckgasflasche innerhalb eines Kontrollbereiches angenommen. Nach Zerstörung einer Handschuhbox war der gegenüberliegende Raum kontaminiert. Es wurde davon ausgegangen, daß das Ereignis mit eigenen Kräften beherrschbar sein wird und mit keiner radioaktiven Emission verbunden ist.

Während dieser Alarmübung kamen die Werkfeuerwehr nebst Feuerwehrtrupp, Sanitäter der Medizinischen Abteilung, Strahlenschutz und Absperrtrupp zum Einsatz. Es konnte gezeigt werden, daß das Ereignis durch die internen Einsatzkräfte aufgrund ihrer Verfügbarkeit, ihres sicheren Handelns und ihrer Einsatzbereitschaft bewältigt wurde. Die Zusammenarbeit der Einsatzkräfte untereinander entsprach den Erfordernissen.

Alarmübung II/86 fand auf der Kreuzung von Blankenlocher Straße und Spöcker Straße, in der Nähe des FR 2-Betriebsgeländes, statt. Für die Übung wurde folgende Annahme getroffen: Zusammenstoß eines Tanklastzuges mit einem LAW-Abwasser-Transport. Durch den Aufprall reißt die

Abwasser-Saugleitung, kontaminiertes Abwasser wird freigesetzt und läuft zum Teil in die Regenwasserkanalisation. Die zwei Insassen des aufgefahrenen Fahrzeuges sind verletzt.

Die Alarmübung war nicht angekündigt und der Übungsverlauf nicht vorgegeben. Zielsetzung war, Rüst- und Reaktionszeit sowie Zusammenarbeit der einzelnen Einsatzkräfte zu überprüfen.

Während dieser Alarmübung kamen die Werkfeuerwehr, Sanitäter der Medizinischen Abteilung, Strahlenmeßtrupp, Umgebungsüberwachung, Dekontaminationstrupp, Verkehrsdienst, Abspertrupp und Mitarbeiter des Klärwerks zum Einsatz.

Im Zusammenwirken der Einsatzkräfte wurden folgende Maßnahmen durchgeführt:

- Rettung und Versorgung der Verletzten durch den Sanitätsdienst der Medizinischen Abteilung,
- Transport der Verletzten durch den Sankra,
- Kontaminationsmessung und -kontrolle durch den Strahlenmeßtrupp,
- Absperren des Gefahrenbereiches durch den Strahlenmeß- und Abspertrupp,
- Sicherung und Dekontamination der kontaminierten Flächen durch den Dekontaminationstrupp,
- Aufstellen und Inbetriebnahme des Deko-Schleusen-Containers und des Materialcontainers durch den Dekontaminationstrupp,
- Schließen des Sandfangauslaufes in den Hirschgraben sowie Abpumpen des Sandfanginhaltes durch Mitarbeiter des Klärwerks,
- Entnahme und Analyse von Proben aus Sandfang, Kanalisation und kontaminiertem Erdreich durch die Arbeitsgruppe "Umgebungsüberwachung",
- Verkehrsregelung im Bereich des Unfallortes durch den Verkehrsdienst und den Abspertrupp,
- Technische Hilfe durch die Werkfeuerwehr.

Bei dieser Alarmübung war die sofortige Verfügbarkeit der benötigten Einsatzkräfte nicht in allen Fällen zufriedenstellend. Die Zusammenarbeit und die Einsatzbereitschaft der Trupps war, wie immer, gut.

#### 2.4.4 Aktualisierung der Einsatzhilfsmittel

W. Winkelmann

Dem Einsatzleiter stehen zur Durchführung seiner Aufgaben zahlreiche Einsatzunterlagen und Hilfsmittel zur Verfügung. Neben dem Alarmplan der KfK GmbH sind die wichtigsten Hilfsmittel die Brandbekämpfungspläne der einzelnen Organisationseinheiten der KfK GmbH, der Abluftplan für das KfK, der besondere Katastropheneinsatzplan für die Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe und das rechnergestützte meteorologische Informationssystem MIS.

Brandbekämpfungspläne vermitteln den Einsatzdiensten vor allem außerhalb der normalen Arbeitszeit notwendige Orts- und Anlagenkenntnisse über wichtige Abschalteneinrichtungen und besondere Gefahrenschwerpunkte. Den KfK-Normen entsprechend bestehen die Brandbekämpfungspläne aus einem textlichen Teil, den Angaben zur Brandbekämpfung und den Gebäudeplänen.

In den Angaben zur Brandbekämpfung sind, neben einer Kurzbeschreibung der Anlage, besonders gefährdete Bereiche, nukleare Gefahrenherde, Sicherungs- und Alarmsysteme, Feuerlöscher- und Hilfseinrichtungen und empfohlene Maßnahmen zur Brandbekämpfung aufgeführt. Diese textlichen Angaben sind dann in einer bildlichen, maßstabsgetreuen Darstellung auf die Gebäudepläne zu übertragen. Da bauliche Anlagen, Versuchsaufbauten und Gebäudestrukturen einem ständigen Wechsel unterliegen, ist es notwendig, die Brandbekämpfungspläne den geänderten Situationen anzupassen. Nach dem derzeitigen Gebäudezustand werden für 200 Anlagen, Gebäude oder Gebäudekomplexe im Kernforschungszentrum Karlsruhe Brandbekämpfungspläne benötigt.

Nachdem alle Organisationseinheiten durch den Sicherheitsbeauftragten schriftlich aufgefordert worden waren, ihre Brandbekämpfungspläne zu überprüfen, wurden unter Anleitung und mit Unterstützung der EvD zahlreiche Pläne aktualisiert und fehlende Pläne neu erstellt. Einen Überblick über den bis Ende 1986 erreichten Fertigungsstand für diese Pläne gibt Abb. 2/13.

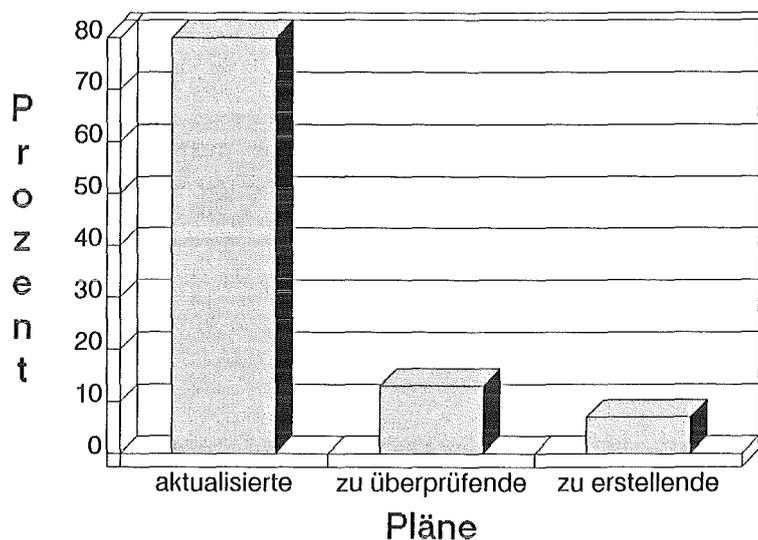


Abb. 2/13: Fertigungsstand der Brandbekämpfungspläne Ende 1986

Wie Abb. 2/13 zeigt, sind ein Fünftel der Brandbekämpfungspläne überholungsbedürftig oder noch nicht erstellt. Aufgrund von geplanten, laufenden oder erst kürzlich abgeschlossenen Umbauarbeiten wäre es für einige Institute oder Anlagen zum jetzigen Zeitpunkt nicht sinnvoll gewesen, neue Pläne zu erstellen oder die vorhandenen zu aktualisieren.

Der große Gebäudebestand der KfK GmbH mit seinen zahlreichen Anlagen und der Trend, bei Neubauten oder Sanierungen Brandmeldeanlagen aus dem Eingangsbereich in Kellerräume zu verlagern, erforderte Maßnahmen, um den Einsatzkräften weiterhin Orientierung im Gebäude und rasches Auffinden von Gefahrenmeldern zu gewährleisten.

Zu diesem Zweck wurde eine KfK-Norm "Gefahrenmeldeanlagen" erstellt (siehe auch Kap. 2.2.5). Gefahrenmeldeanlagen dienen dazu, Betriebsstörungen zu einem frühen Zeitpunkt zu erkennen und zu melden, damit rechtzeitig Maßnahmen zur Gefahrenabwehr getroffen werden können.

Diese KfK-Norm Nr. 17 fordert u. a., Gefahrenmeldeanlagen generell mit einem Paralleltabelleu auszurüsten und es im Eingangsbereich zu installieren. Das Paralleltabelleu ist dabei als Gebäudeplan mit integrierten Leuchtanzeigen zu erstellen, die den einzelnen Meldern oder Überwachungsbereichen zugeordnet sind. Durch die Farbgebung der Leuchtanzeige, durch Dauer- oder Blinklicht in Verbindung mit einem akustischen Signal und durch die Anzeige in einem Gebäudeplan wird den Einsatzkräften die schnelle Orientierung in einem Gebäude ermöglicht. Tab. 2/17 gibt einen Überblick über die Möglichkeiten zur Signalisierung von Alarmen.

Die Abstimmung des Standortes und der Ausführung von Gefahrenmeldeanlagen mit dem Technischen Sicherheitsbüro gewährleistet die optimale Nutzung solcher Meldeanlagen für die Einsatzdienste. Seit Inkrafttreten dieser KfK-Norm konnte von seiten des Technischen Sicherheitsbüros auf vier Neuanlagen Einfluß genommen werden.

Betriebszustand	Anzeige	
	optisch (Farbgebung)	akustisch
Anlage in Betrieb .....	+ (grün)	—
Störung der Anlage .....	+ (gelb, blinkend)	+
Abschaltung von Anlageteilen .....	+ (gelb)	—
Feueralarm .....	+ (rot, blinkend)	+
Wasseralarm .....	+ (weiß, blinkend)	+
Sonstige Alarme* .....	+ (orange, blinkend)	+
Abschaltung der jeweiligen Übertragungseinrichtung (Hauptmelder) .....	+ (gelb)	—
* Beim Zusammentreffen mehrerer „Sonstiger Alarme“ und nicht vorhandenem Wasseralarm, kann die Farbe Weiß anderweitig verwendet werden. Sofern zukünftig blaue LED's zur Verfügung stehen, sind diese ebenfalls für Alarmarten der Gruppe „Sonstige Alarme“ zu verwenden. Die farbliche Zuordnung der Alarmart muß in der Legende des Paralleltableaus erfolgen.		

Tab. 2/17: Farbliche Darstellung der Betriebszustände in einem Paralleltableau

#### 2.4.5 Meldepflichtige Ereignisse

H.-A. Ammermann

Nach § 36 der StrlSchV ist der Eintritt eines Unfalles, eines Störfalles oder eines sonstigen sicherheitstechnisch bedeutsamen Ereignisses unverzüglich der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde anzuzeigen. Die Melderegelung dient in erster Linie zur Präzisierung und Konkretisierung dieser Vorschrift. Sie erfaßt außerdem besondere Vorkommnisse, die nach anderen Vorschriften der StrlSchV anzuzeigen sind, sowie solche, über die sich die Behörde zur Erfüllung ihrer Aufsichtspflicht gemäß § 19 AtG unterrichten lassen will.

Die Zuständigkeiten und Kommunikationswege bei meldepflichtigen Ereignissen im Bereich der KfK GmbH sind wie folgt festgelegt:

- Verantwortlich für den sachlichen Inhalt der Meldung ist grundsätzlich der für die jeweilige Organisationseinheit zuständige SSB.
- Vorkommnisse, die den Verantwortungsbereich des SSB überschreiten oder keiner einzelnen Organisationseinheit zugeordnet werden können, sind außer dem EvD auch dem Sicherheitsbeauftragten zu melden.
- Die technische Durchführung der Meldung aufgrund der vom SSB formulierten meldepflichtigen Sachverhalte ist dem EvD übertragen worden. Er leitet Erstmeldungen sowie Ergänzungsmeldungen und ausführliche Berichte entsprechend dem Meldeverfahren an die Aufsichtsbehörden weiter und kontrolliert die Einhaltung der im Meldeverfahren gesetzten Fristen.

Im Jahre 1986 waren den Aufsichtsbehörden 7 sicherheitstechnisch bedeutsame Ereignisse (Meldestufe II) zu melden. Darüberhinaus wurden die Behörden über 22 besondere Vorkommnisse (Info-Stufe) informiert, die sicherheitstechnisch nicht als bedeutsam einzustufen waren.

2.5 Abfallwirtschaft

2.5.1 Entsorgung von inaktiven Abfällen

E. Linß, E. Windbühl

Die Konzeption der Abfallwirtschaft und der damit verbundene Abrufrahmenvertrag mit einer Entsorgungsfirma haben sich auch im vergangenen Berichtsjahr bewährt. So konnten 1986 mit 301 Entsorgungsaktionen die angefallenen inaktiven Sonderabfälle einer ordnungsgemäßen Beseitigung zugeführt werden. Die Einzelmengen der verschiedenen Abfallarten sind in Tab. 2/18 tabellarisch aufgelistet.

Inhalt von Fettabscheidern	44,112 t
Braunkohlenasche	22,000 m <sup>3</sup>
Kesselschlacke	16,000 m <sup>3</sup>
Bauschutt	1799,000 m <sup>3</sup>
Ölverunreinigtes Erdreich	32,000 m <sup>3</sup>
Sonstige verunreinigte Böden	8,000 m <sup>3</sup>
Glas- und Keramikabfälle mit Beimengen	30,860 t
Quecksilber-Batterien	0,300 t
Trockenbatterien, Trockenzellen	2,200 t
Quecksilber, quecksilberhaltige Rückstände	0,018 t
Akku-Säuren	0,250 m <sup>3</sup>
Säuren, Säuregemische	51,450 m <sup>3</sup>
Laugen, Laugengemische	12,480 m <sup>3</sup>
Spül- und Waschwasser, metallsalzhaltig	43,360 t
Entwickler	0,680 t
Sonstige Konzentrate	0,700 m <sup>3</sup>
Altöl, verunreinigt	2,000 m <sup>3</sup>
Feste, mineralische ölhaltige Werkstattabfälle	48,000 m <sup>3</sup>
Öl-Wasser-Gemische	7,720 t
Öl- und Benzinabscheiderinhalte	153,640 t
Tankreinigungsrückstände, halogenhaltig	14,140 t
Lösemittelgemische, halogenhaltig	0,660 m <sup>3</sup>
Lösemittelgemische, halogenfrei	3,900 m <sup>3</sup>
Lack- und Farbschlamm	0,220 t
Ionenaustauscherharze mit produktionspezif. Beimengungen	0,360 t
Putzwolle, Putzlappen	6,000 m <sup>3</sup>
Flüssige Tenside	16,760 t
Polychlorierte Biphenyle	3,160 t
<b>Gesamtsummen:</b>	<b>317,530 t</b>
	<b>2002,440 m<sup>3</sup></b>

Tab. 2/18: Nachweispflichtige Abfallstoffe 1986

Im allgemeinen verliefen Transport und Beseitigung der Sonderabfälle reibungslos. Lediglich für bestimmte Abfallarten wie "Laborchemikalienreste", "Gase in Stahldruckflaschen", "Säuregemische" und "Laugengemische" hat sich die negative Tendenz aus dem Vorjahr bestätigt. Es war bislang nicht möglich, eine geeignete Beseitigungsanlage ausfindig zu machen, die kurzfristig die hier anfallenden Mengen annehmen und ordnungsgemäß beseitigen kann. Begründet wird dieser Sachverhalt einerseits durch die begrenzte Aufnahmekapazität der Anlagen, andererseits durch das Fehlen solcher Anlagen in Baden-Württemberg. Beseitiger in den angrenzenden Bundesländern sind angehalten, vorrangig Anlieferer aus dem eigenen Bundesland zu bedienen. Bedingt durch diesen Entsorgungsengpaß und der Schließung des Abfallsammellagers im Geb. 231 nach einer radioaktiven Kontamination im Oktober 1985, war eine Neukonzeption des internen Entsorgungsablaufs notwendig. Für alle inaktiven Abfallstoffe, die nicht vom Abfallerzeuger direkt zum Abfallbeseitiger transportiert werden können, wird ein Pufferlager im Geb. 604 eingerichtet. Die Baupläne sind erstellt, und die notwendigen Mittel für die bauliche Ausführung sind vorhanden, so daß noch im Dezember 1986 der Antrag auf Baugenehmigung eingereicht werden konnte. Somit ist in absehbarer Zukunft eine geordnete und vorschriftsmäßige Zwischenlagerung von umwelt- und wassergefährdenden Sonderabfallstoffen bis zum Abtransport gewährleistet.

Positive Ergebnisse konnten bei der Klärschlamm Entsorgung verbucht werden. Im Dezember 1985 stellte die unter Vertrag stehende Entsorgungsfirma den Antrag auf Erteilung der Transportgenehmigung nach § 12 Abfallgesetz für Klärschlämme aus dem Kernforschungszentrum Karlsruhe. Mit Schreiben vom 17.03.1986 teilte das Rechtsreferat der Stadt Karlsruhe der Antragstellerin mit, daß das Landratsamt Karlsruhe dem Städtischen Tiefbauamt als Betreiber der Deponie Grötzingen einen "Vertragsentwurf zur Regelung des weiteren Betriebes der Deponie Grötzingen" vorgelegt hat. Entsprechend diesem Vertrag waren "Klärschlämme" und "Schlämme aus dem Kernforschungszentrum Karlsruhe" von der Ablagerung auf der Deponie ausgeschlossen. Da in der Zwischenzeit ca. 200 m<sup>3</sup> Faulschlamm aus dem mechanisch-biologischen Klärwerk für häusliche Abwässer in Deckelmulden zum Abtransport bereitstanden, galt es, kurzfristig eine andere Deponie zu finden. Nach aufwendigen Analyseverfahren und deren Auswertung durch das Engler-Bunte-Institut, erhielt die Entsorgungsfirma nun im Spätjahr die Genehmigung, diese Schlämme auf die Kreisdeponie Bruchsal zu verbringen.

#### 2.5.2 Zentrale Nachweisführung der Abfallbehandlung

E. Linß, E. Windbühl

Mit Schreiben vom 18. Juni 1985 hat das Umweltschutzamt im Landratsamt Karlsruhe, die KfK GmbH zur Führung eines Nachweisbuches insbesondere für Abfälle entsprechend § 2, Abs. 2 Abfallgesetz (AbfG) für die sog. Sonderabfälle verpflichtet. Nach § 11, Abs. 2 AbfG kann das Landratsamt über die Beseitigung von Abfällen, die nicht mit dem ortsüblichen Haus- und Sperrmüll beseitigt werden dürfen, einen Nachweis über die ordnungsgemäße Beseitigung in Form eines Nachweisbuches anordnen. Es handelt sich in der Regel um solche Abfälle, durch die eine Schädigung der Umwelt in besonderem Maße erfolgen kann.

Auf Anforderung des Landratsamtes sind Nachweisbücher und Belege zur Überprüfung vorzulegen. Die Einrichtung, Führung und Vorlage der Nachweisbücher und das Einhalten von Belegen sowie die Aufbewahrungspflicht wurden vom Bundesminister des Innern durch die Abfallnachweis-Verordnung (AbfNachwV) vom 2. Juni 1978 geregelt.

Für Abfälle, die aufgrund der vom Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung, Baden-Württemberg, erteilten Genehmigung K 95/83 für die Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe wie gewöhnliche Abfälle der Beseitigung zugeführt werden, gelten die Auflagen des Genehmigungstextes.

Der Nachweis über Art, Menge und Beseitigung von Abfällen wird nach § 2 AbfNachwV mit Hilfe von 6-fachen Begleitscheinsätzen geführt. Die Verantwortlichkeit des Ausfüllens und die Handhabung der Begleitscheine sind in den §§ 3 und 4 AbfNachwV festgelegt. Der Ablauf der Nachweisführung durch Begleitscheine ist in Abb. 2/14 dargestellt.

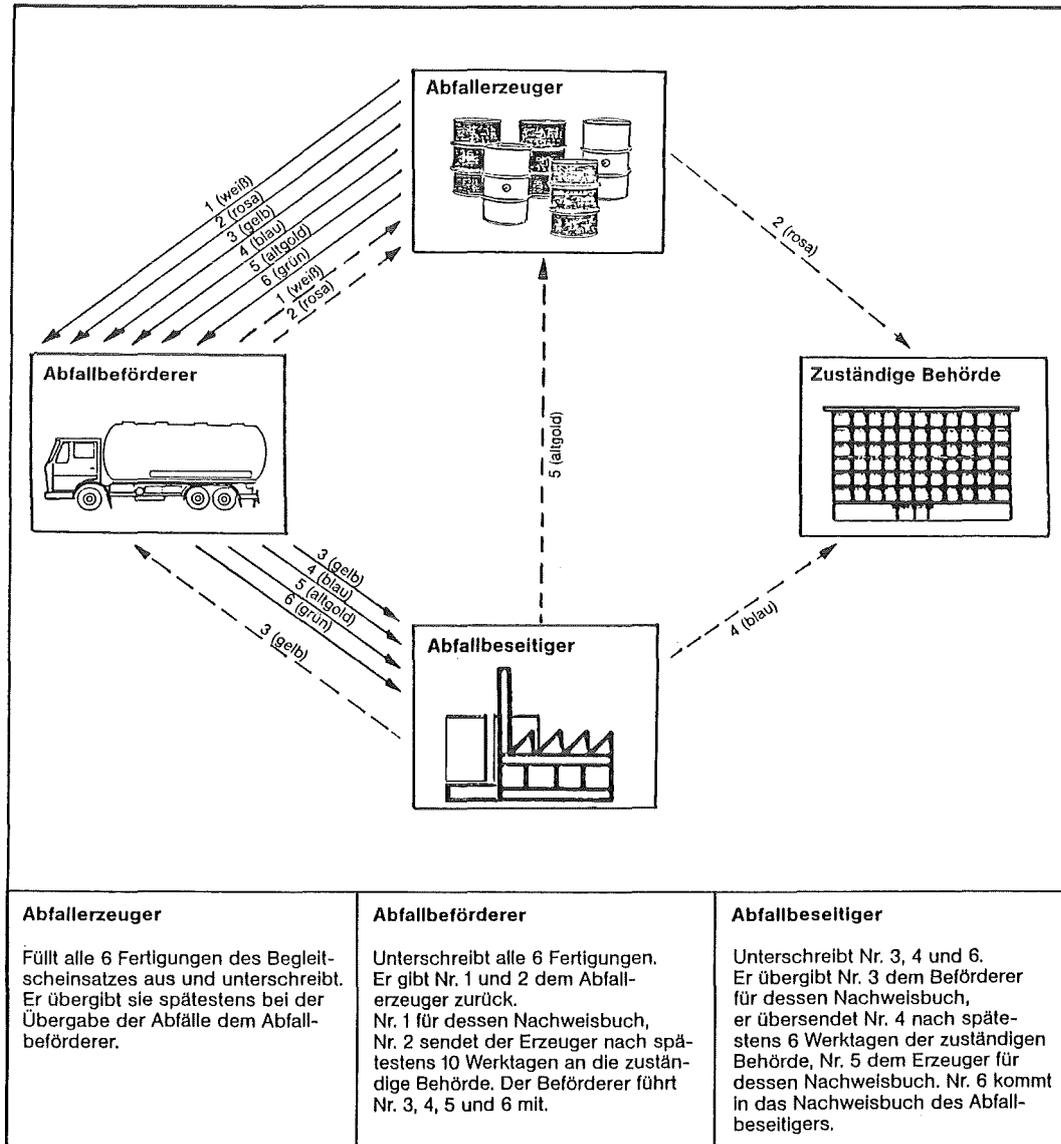


Abb. 2/14: Begleitscheinverfahren

Die Nachweisbücher sind nach § 7 AbfNachwV 3 Jahre und gem. der HDB-Genehmigung 5 Jahre vom Datum der letzten Eintragung oder des letzten Belegs an gerechnet, aufzubewahren. Die innerbetriebliche Überwachung der Abfallwege und Abfallbehandlung obliegt in der KfK dem Betriebsbeauftragten für Abfall. Die zentrale Nachweisführung für alle Entsorgungsvorgänge erfolgt im Technischen Sicherheitsbüro mittels EDV. Um eine lückenlose Kontrolle zu gewährleisten, werden die folgenden Maßnahmen durchgeführt:

- Nachweisführung nach § 11 Abs. 2 AbfG in Verbindung mit § 3 und § 7 AbfNachwV über Art, Menge und ordnungsgemäße Beseitigung aller anfallenden Abfälle, insbesondere der sog. Sonderabfälle entsprechend § 2 Abs. 2 AbfG,

- Dokumentation gem. der HDB-Genehmigung über Art, Menge, Zusammensetzung, Aktivität, Empfänger und Vollzug der Beseitigung dieser Abfälle,
- Anmahnen von fehlenden Nachweisbelegen über die ordnungsgemäße Beseitigung,
- Überwachung der Abfallwege von der Entstehung, über die Zwischenlagerung bis hin zur Beseitigung gemäß § 11 Abs. 1 AbfG,
- Klassifizierung der Entsorgungsgüter entsprechend Abfallkatalog,
- Sortieren und Auflisten der Abfallstoffe nach internen Abgebern und pro Entsorgungseinheit,
- Erstellen von Kostenumlagen auf die einzelnen Organisationseinheiten,
- Ausdruck der "internen Abfallbörse" wiederverwendbarer Chemikalien und Arbeitshilfsmittel,
- Ausdruck von Listen nach verschiedenen Kriterien für den internen und externen Bedarf.

## 2.6 EDV-Einsatz für administrative Aufgaben des Technischen Sicherheitsbüros

### 2.6.1 Regelmäßige EDV-Serviceleistungen

R. Schneider, A. Ruppe

Laut Strahlenschutzverordnung müssen alle den Strahlenschutz betreffenden Unterlagen für die Dauer von bis zu 30 Jahren aufbewahrt werden. Im Technischen Sicherheitsbüro der HS werden zur Erfüllung dieser Pflicht personenbezogene Meßwerte, Belehrungstermine und Untersuchungsergebnisse für alle beruflich strahlenexponierten Mitarbeiter der KfK mittels EDV erfaßt und gespeichert. Die Struktur der bei HS/TSB erfaßten Datenbestände wurde dem betrieblichen Datenschutzbeauftragten gemeldet.

Mitarbeiter, die im Kontrollbereich tätig werden sollen, werden vom zuständigen Strahlenschutzbeauftragten bei HS/TSB mit Erhebungsbogen angemeldet und in der EDV erfaßt. Im Technischen Sicherheitsbüro wird die Überwachungskategorie festgesetzt und die erforderliche ärztliche Untersuchung veranlaßt. Nach erfolgter Untersuchung werden Kopien der Erhebungsbögen von HS/TSB an HS/Ü und HS/D weitergeleitet, damit der Mitarbeiter die richtigen Dosimeter erhält. Wenn ein Mitarbeiter aus der Überwachung ausscheidet, wird er mittels Erhebungsbogen bei HS/TSB wieder abgemeldet. Die Terminüberwachung der routinemäßigen Strahlenschutzuntersuchungen und -belehrungen ist ein aufwendiger Bestandteil des EDV-Service.

Für Personen, die Umgang mit gesundheitsgefährdenden Arbeitsstoffen haben oder evtl. gesundheitsgefährdende Tätigkeiten ausüben, ist eine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung erforderlich. Zur Erfassung und Überwachung dieser Untersuchungen wird ebenfalls EDV eingesetzt.

In unterschiedlichen Zeitintervallen werden Listen, Mitteilungen und Statistiken für externe und interne Empfänger erstellt. Eine schematische Darstellung des umfangreichen Datenaustausches sowohl zwischen HS/TSB und anderen Organisationseinheiten oder Funktionsträgern der KfK GmbH als auch zwischen HS/TSB und externen Adressaten zeigt Abb. 2/15.

#### 1. Dosis- und Terminüberwachung

Die von HS/Ü und HS/D und der Landesanstalt für Umweltschutz ermittelten Dosiswerte externer Bestrahlung aller beruflich strahlenexponierten Personen der KfK GmbH und von Fremdfirmenmitarbeitern werden bei HS/TSB mittels EDV erfaßt und weiterverarbeitet. Mitte eines jeden Monats erstellt HS/TSB für HS/D eine Diskette, auf der alle Mitarbeiter der Kategorie A und die Mitarbeiter der Kategorie B, die Albedo-Dosimeter tragen, gespeichert sind. HS/D ergänzt die vorhandenen Datensätze mit aktuellen Meßwerten und sendet die Diskette an HS/TSB zurück. Dort werden die Monatswerte in entsprechende Dateien überspielt. Ab 1987 werden die von HS/D jährlich ermittelten Glasdosimeterwerte auf gleiche Weise übernommen. Am Ende eines jeden Monats, wenn alle Dosiswerte des vorangegangenen Monats aufgenommen worden sind, erfolgt mit einem gesonderten Programm die Überprüfung auf evtl. Grenzwertüberschreitungen gemäß der

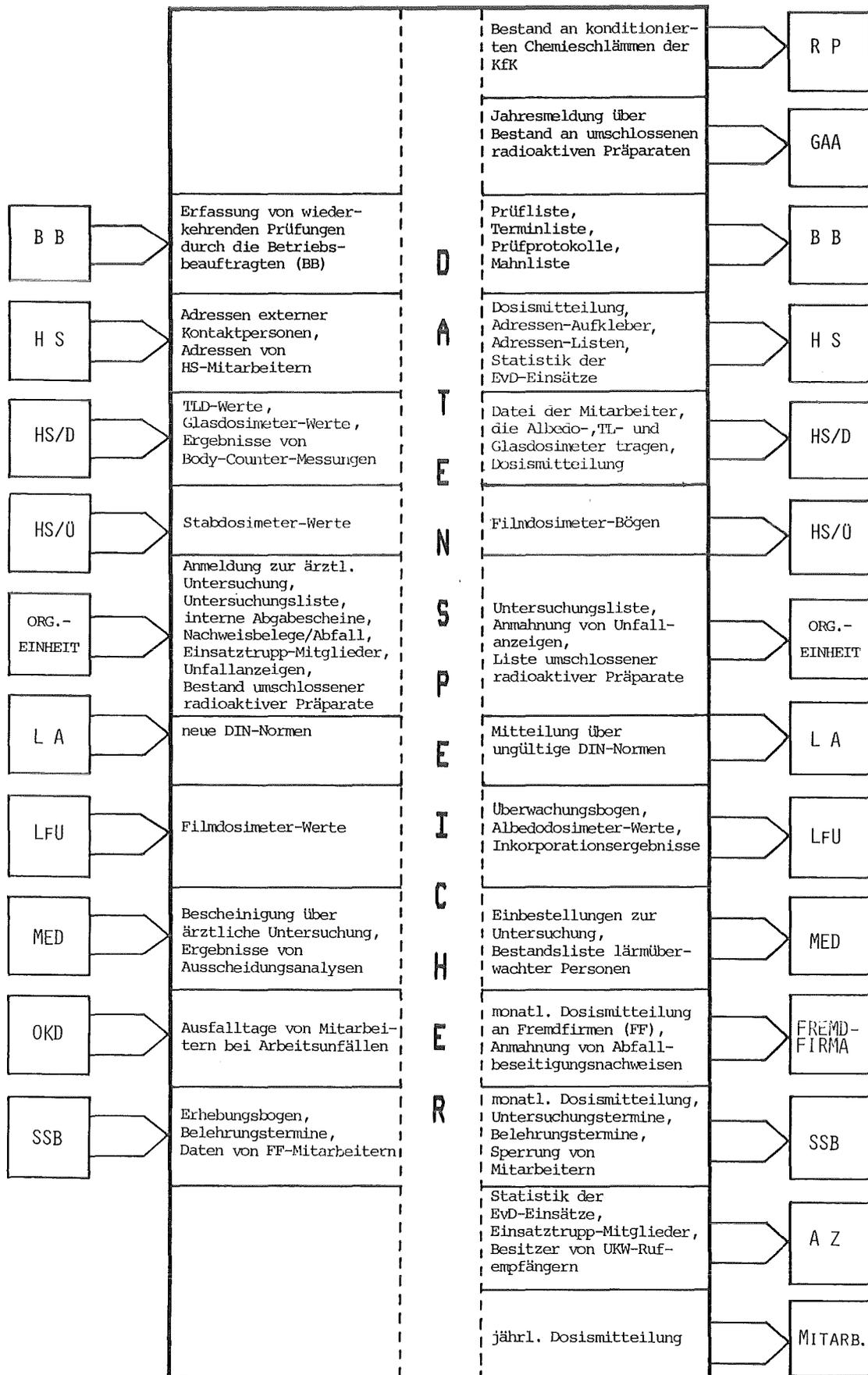


Abb. 2/15 : Datenaustausch zwischen HS/TSB und KfK-internen und externen Stellen

Strahlenschutzverordnung.

Zu erfassende Werte und Termine:

- Monatliche Übernahme der Stabdosisimeterwerte mittels Diskette von HS/Ü: ca. 2 000 Werte
- monatliche Übernahme der TLD- und Albedo-Dosisimeterwerte mittels Diskette von HS/D: ca. 700 Werte
- monatliche manuelle Eingabe der von der LfU ermittelten amtlichen Film-dosisimeterwerte: ca. 670 Werte
- monatliche Übernahme der Inkorporationsmeßergebnisse mittels Diskette von Med./Tox.: ca. 50 Werte
- jährliche manuelle Eingabe der internen Glasdosisimeterwerte aller beruflich strahlenexponierten Mitarbeiter der Kategorie B (ab 1987 erfolgt der Datentransfer zwischen HS/D und HS/TSB per Diskette): ca. 1 400 Werte
- kontinuierliche Eingabe von Terminen und Ergebnissen der regelmäßigen Strahlenschutzuntersuchungen (Details siehe Tab. 2/19), 1986 insgesamt: 729 Eingaben
- kontinuierliche Eingabe von Daten der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen (Gliederung nach Untersuchungsgrundlagen siehe Tab. 2/19) 1986 insgesamt: 2 016 Eingaben
- mittlere monatliche Anzahl der gem. § 39 StrlSchV zu dokumentierenden Strahlenschutzbelehrungen: ca. 350 Eingaben

Untersuchungsgrundlage	Anzahl der im jeweiligen Untersuchungsintervall erforderlichen Einzeluntersuchungen	Untersuchungsintervalle in Monaten	Anzahl der 1986 durchgeführten Einzeluntersuchungen
Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für Tätigkeiten oder Einwirkungen bei			
- Bildschirmarbeiten	1 014	60	304
- Fahr-, Steuer-, und Überwachungs-tätigkeiten	678	36	350
- Lärm	479	36	304
- Trägern von Atemschutzgeräten	425	36	257
- anderen Belastungen	176	24	116
- gefährlichen Arbeitsstoffen	296	12	243
Summe	3 068		1 574
Unfallverhütungsvorschrift VBG 100 "Arbeitsmedizinische Vorsorge" und Technische Regeln für gefährliche Arbeitsstoffe beim Umgang mit			
- nachweislich krebserzeugenden Stoffen	94	12	61
- vermutlich krebserzeugenden Stoffen	86	12	70
Summe	180		131
Sonstige Gefährdung	373	12	311
Summe	373		311
Strahlenschutzverordnung (§67)			
- Kategorie A	597	12	597
- Kategorie B	140	12	132
Summe	737		729
Gesamtzahl	4 358		2 745

Tab. 2/19: Anzahl der erforderlichen gefährdungsspezifischen Einzeluntersuchungen und der 1986 durchgeführten Untersuchungen, geordnet nach Untersuchungsgrundlagen

## 2. Routinemäßige Mitteilungen und Listenausdrucke

Zur Berichterstattung, Terminverfolgung und Bekanntmachung wichtiger Informationen oder administrativer Maßnahmen und zur Abwicklung der internen und externen Korrespondenz müssen unterschiedliche Personenkreise und Institutionen angeschrieben werden. Zur Rationalisierung des umfangreichen Schriftverkehrs werden Formblätter, Listen und Verzeichnisse, die unterschiedlichen Ordnungskriterien unterliegen, maschinell erstellt und in unterschiedlichen Intervallen an verschiedene Empfänger verschickt.

### Mitteilungen an die Strahlenschutzbeauftragten:

- Monatliche Meldung der Mitarbeiter, deren Strahlenschutzbelehrung gem. § 39 StrlSchV im Folgemonat fällig ist,
- monatliche Meldung der Mitarbeiter, deren Strahlenschutzuntersuchung gem. § 67 StrlSchV im Folgemonat fällig ist,
- monatliche Meldung der Mitarbeiter, denen aufgrund nicht fristgerecht erfolgter Strahlenschutzbelehrung oder -untersuchung der Zutritt zu Kontrollbereichen untersagt wird,
- monatliche Mitteilung der externen Ganzkörperdosiswerte aller beruflich strahlenexponierten Personen (Durchschläge erhalten zur Kenntnis HS und HS/D).

### Mitteilungen an sonstige Adressaten:

- Monatliche Meldung der zur Strahlenschutzuntersuchung fälligen Mitarbeiter an die medizinische Abteilung,
- monatliche Meldung der zur arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung fälligen Mitarbeiter an die medizinische Abteilung,
- monatliche Mitteilung der Dosiswerte aller beruflich strahlenexponierten Fremdfirmenangehörigen an den Strahlenschutzbeauftragten der jeweiligen Fremdfirma,
- monatliche Mitteilung an die Landesanstalt für Umweltschutz über die Ergebnisse der Neutronendosimetrie,
- jährliche Dosismitteilung an alle beruflich strahlenexponierten Mitarbeiter (ca. 2 000 Ausdrücke),
- monatlicher Ausdruck der Überwachungsbogen zur Personendosisfeststellung mit amtlichen Film-dosimetern an HS/D zur Weiterleitung an die Landesanstalt für Umweltschutz,
- halbjährliche Listen mit den Namen jener Mitarbeiter, die zu arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen gemeldet sind. Diese Mitteilung enthält für die aufgeführten Personen die von HS/TSB erfaßten Gefährdungsarten und dient dem jeweiligen Institut als Grundlage zur Überprüfung und Korrektur des Datenbestandes.

Außer den routinemäßigen Ausdrucken werden auf Anforderung noch folgende Listen und Mitteilungen erstellt:

- Institutsbezogene alphabetische Namenslisten strahlenexponierter Mitarbeiter,
- institutsbezogene Unterschriftenlisten zur Protokollierung der Teilnahme an Strahlenschutzbelehrungen,
- Bescheinigungen über die Strahlenexposition einzelner Mitarbeiter,
- statistische Auswertungen der Personendosis-Datei für Jahresberichte (siehe Kap. 2.1.4),
- Listen und statistische Angaben aus dem Datenbestand "arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen und Gefährdungsarten",
- institutsbezogene und alphabetische Namenslisten aller KfK-internen Kontaktpersonen für HS/TSB (eine Selektion nach Funktionen der Mitarbeiter ist möglich),
- institutsbezogene und chronologische Listen aller die KfK betreffenden atomrechtlichen Genehmigungen.

Neben Daten, die den Strahlen- und Arbeitsschutz betreffen, werden bei HS/TSB Adressen externer und interner Kontaktpersonen für HS verwaltet. Diese werden hauptsächlich für Versandak-

tionen bei HS und HS/TSB benötigt. Pro Jahr werden etwa 6 000 Adressenaufkleber erstellt.

Für weitere Aufgabenbereiche von HS/TSB, wie Abfallwirtschaft, wiederkehrende Prüfungen, Arbeitsunfälle, meldepflichtige Ereignisse und EvD-Einsätze existieren ebenfalls Computerprogramme, die zur Erledigung aller anfallenden routinemäßigen Arbeiten gewartet und von Zeit zu Zeit ergänzt oder verändert werden müssen. Die Datenbestände werden von den einzelnen Sachbearbeitern gewartet. Eine nähere Beschreibung dieser EDV-gestützten Arbeiten erfolgt in den entsprechenden Kapiteln.

## 2.6.2 Vorbereitungen zur Verwirklichung des neuen Hard- und Softwarekonzeptes

W. Tachlinski

Im Jahre 1985 war ein neues Hard- und Softwarekonzept für das Technische Sicherheitsbüro entworfen worden, welches im letztjährigen Jahresbericht der Hauptabteilung im Kapitel 2.6.2 beschrieben und begründet wurde. Zusammenfassend hieß es dort, daß die 10 Jahre alte EDV-Technik des TSB durch moderne Hard- und Softwarekomponenten ersetzt werden muß, um die folgenden, künftig notwendigen Maßnahmen durchführen zu können:

- Trennung von Anlagenbetrieb und Anwendung,
- Ertüchtigung des Datenschutzes,
- Verbesserung der Datensicherung,
- Ausbau einer anwenderfreundlichen Kommunikationsoberfläche,
- Flexibilisierung in Richtung schnell zugänglicher Einzelinformationen an den TSB-Arbeitsplätzen,
- Einsatz von Datenbanksystemen anstatt niederer Programmiersprachen,
- Softwareorganisation in übersichtlicher, modularer Programmstruktur,
- Einführung zentraler Datenstruktur ohne Vielfachspeicherung,
- Ermöglichung externer Datenverbindungen.

Als Hardware dazu wäre ein netz- und mehrplatzfähiger Minirechner oder ein lokales Netzwerk von PC's einsetzbar, als Software sollten kommerziell angebotene Programmpakete wie Datenbank oder Textverarbeitung benutzt werden.

Im Berichtsjahr waren vorbereitende Arbeiten für den in 1987 geplanten Austausch der EDV-Anlage durchzuführen. Ziel war es, drei IBM-PC's im ETHERNET-Standard zu vernetzen, eine geeignete Datenbank zu installieren und in realistischer Umgebung Betriebserfahrungen zu sammeln. Am Ende dieser Testphase sollte die Entscheidung über die zu beschaffende Hard- und Software stehen.

Wie geplant konnte Mitte März 1986 das Testwerk, bestehend aus einem IBM-AT2 als Fileserver, einem IBM-PC und einem IBM-AT1, in Betrieb genommen werden. Die Geräte standen räumlich getrennt und waren über ein ca. 40 m langes Koaxial-Kabel (Cheapernet) verbunden. Die Kommunikation der Rechner untereinander wurde über ETHERLINK-Karten und die Server-Software der Fa. 3COM abgewickelt. Ein zentraler Laser-Printer wurde später an den, als Server dienenden IBM-AT2 angeschlossen und kann seither von den anderen Arbeitsstationen über das Netz direkt als Ausgabereinheit genutzt werden. Auch die Erweiterung des Testnetzes um einen IBM-XT konnte einfach realisiert werden.

Die Testinstallation zeigte bei Zugriffen auf zentrale Datenbestände über das Netz ein Antwortzeitverhalten, das sich nicht merkbar von Zugriffszeiten auf lokale Datenbestände unterschied. Lediglich in den Fällen, in denen der Server-PC gleichzeitig als Arbeitsstation genutzt wurde, ergab sich unter bestimmten Voraussetzungen eine merkbare Zugriffsverzögerung für

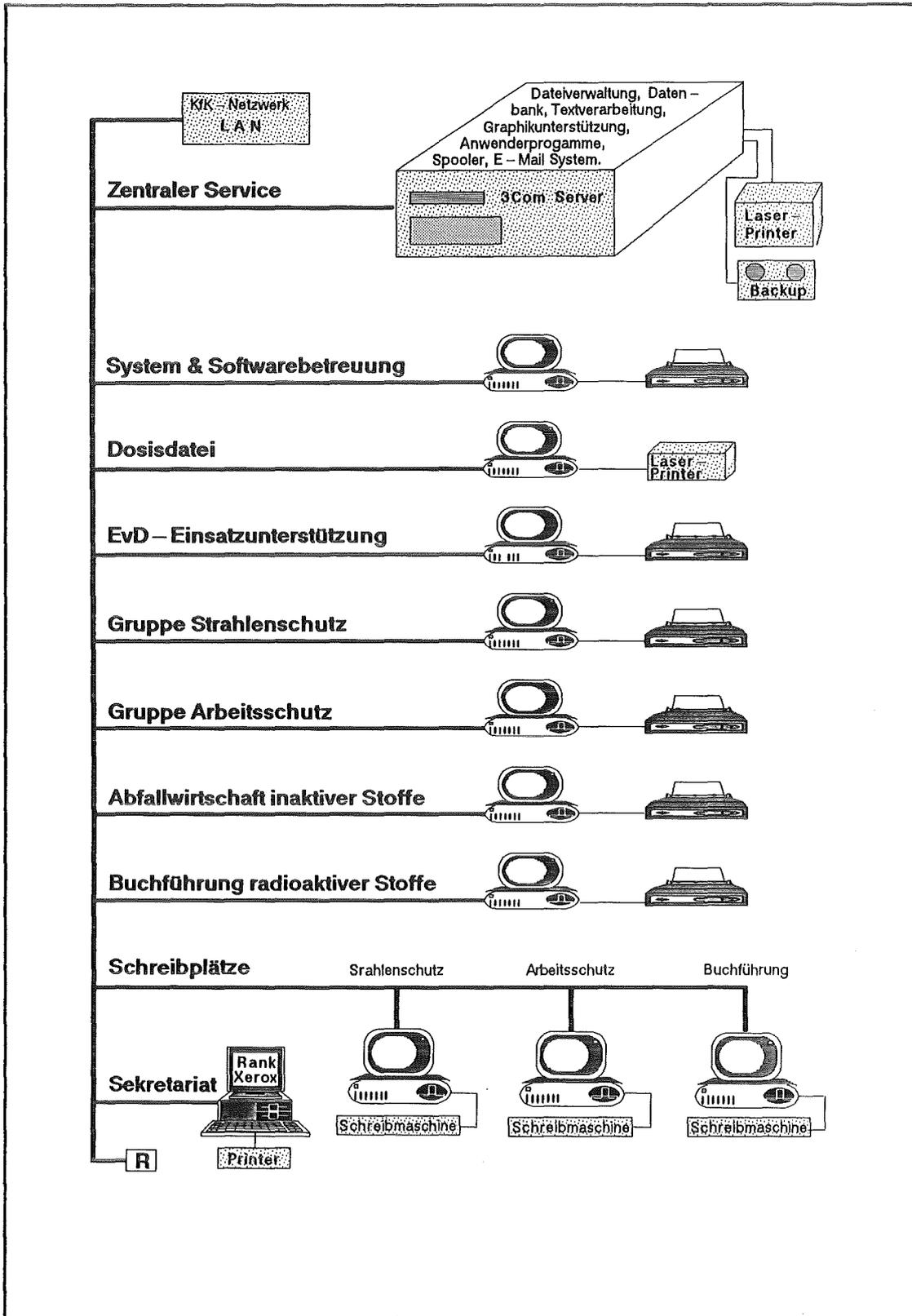


Abb. 2/16: Netzwerk der Arbeitsplatzrechner und der zentralen Datenverwaltung im Technischen Sicherheitsbüro

andere Netzteilnehmer. Dieser Nachteil im Antwortzeitverhalten dürfte mit dem Einsatz des 3COM-Servers zu eliminieren sein.

Insgesamt ist das Testnetz von allen Benutzern uneingeschränkt als tauglich bewertet worden. Die mögliche Flexibilität bei der Ausstattung einzelner Arbeitsplätze und die positiven Testvoten führten im November zu dem Beschluß, die neue HS/TSB-Anlage anstatt mit einem Mini-Zentralrechner und "dummen" Terminals nun mit untereinander vernetzten PC's und zentralem File-Server aufzubauen. Die vorgesehene Konfiguration wurde in Abb. 2/16 dargestellt.

Als geeignete Datenbank wurde das Programmpaket Knowledgeman getestet. Es empfahl sich wegen seines guten Preis/Leistungsverhältnisses und dadurch, daß alle erkennbaren TSB-Softwarewünsche damit abdeckbar schienen. Wesentliche Leistungsmerkmale, welche einigen Konkurrenzprodukten fehlten, sind die Netzwerkfähigkeit von Knowledgeman und eine offene Programmierschnittstelle zur Hochsprache C. Die Version mit den letztgenannten Fähigkeiten wird allerdings erst seit November 1986 ausgeliefert. Für den im Berichtszeitraum durchgeführten Testbetrieb wurde die Einzelbenutzerversion 1.07 ausgeliehen und installiert. Zu Konflikten im Netzbetrieb kam es nicht, weil eine simultane Benutzung durch vorherige Absprache vermieden wurde. Im Verlauf der Testarbeiten wurde die Menue-geführte Benutzeroberfläche für fast alle bisher auf der Alt-Anlage üblichen EDV-Anwendungen im Datenbanksystem programmiert. Die hinter der Menueführung liegende Programmierung für das Anlegen, Aktualisieren und Verarbeiten von Datenbasen wurde allerdings bisher nur für einige exemplarische Beispiele ausgeführt. Das sind die Teilprogramme:

- Externe Kontaktpersonen zu HS,
- Erfassung von Arbeitsunfällen,
- Bearbeitungsstand von Brandbekämpfungsplänen,
- Erfassung meldepflichtiger Ereignisse,
- Erfassung von Betriebsbeauftragten.

Parallel zur Übertragung einzelner Anwendungsteile in die neue Softwaretechnik wurden auch die dazugehörigen Alt-Dateien maschinell in die neuen Datenbasen überspielt. Damit konnte nachgewiesen werden, daß die Übernahme des umfangreichen alten Datenbestandes in ein Knowledgeman-Programmsystem möglich und einfach realisierbar ist.

Die Datenbank erfüllte alle vordefinierten Anforderungen im Test. Als einziger, jedoch nicht entscheidender Nachteil des Datenbanksystemes wurde eine Verlängerung der Antwortzeiten festgestellt.

Die positiven Voten der Testteilnehmer führten im November 1986 zu dem Beschluß, Knowledgeman als Datenbank im PC-Netz des TSB einzusetzen.

Offen blieb bisher noch, welches Textverarbeitungssystem zum HS/TSB-Standard erhoben wird. Schwierigkeiten bereitet hier noch die geforderte Kompatibilität mit den im KfK zunehmend eingesetzten Rank-Xerox-Textverarbeitungsstationen. Eine Klärung dieser Frage wird erst für das kommende Jahr erwartet.

Der erforderliche Verlauf der Vorbereitungen zur Hard- und Softwareerneuerung führte im Dezember 1986 zu Beschaffungsaufträgen für den Ausbau des Testnetzes zur vorgesehenen und in Abb. 2/16 gezeigten Konfiguration für alle Sachgebietsanwendungen. Die Bauabteilung wurde gebeten, die für den Netzbetrieb notwendige Verkabelung der TSB-Räume vorzunehmen.

Um den TSB-Netzwerkteilnehmern Verbindung zum Netz der Hauptabteilung Sicherheit in Geb. 123 zu ermöglichen, zentrale Hard- und Softwareressourcen des bei der KfK im Aufbau befindlichen Local Area Network (LAN) nutzen zu können und später im LAN selber als Anbieter von Informationen über Strahlen- und Arbeitsschutzregeln auftreten zu können, wurde ein Anschluß des TSB-Netzes an das zentrumsweite LAN beantragt.

### 2.6.3 Wiederkehrende Prüfungen

P. Meyer

Zur effektiven Überwachung von wiederkehrenden Prüfungen wird bei der KfK GmbH seit 1984 elektronische Datenverarbeitung eingesetzt. Das dazu bei HS/TSB implementierte System zur zentralen Erfassung und Terminüberwachung der wiederkehrenden Prüfungen soll dazu beitragen, die Organisationseinheiten durch fristgerechten Aufruf der Prüfungen und durch übersichtliche Dokumentation zu entlasten und die Nachweisführung gegenüber Behörden zu erleichtern.

Nachdem dieses Konzept 1985 bei einigen Organisationseinheiten eingeführt und in der betrieblichen Praxis erprobt und verbessert worden war, konzentrierten sich 1986 die Bemühungen von HS/TSB darauf, die Prüfobjekte der anderen Organisationseinheiten zu erfassen und sie in das bestehende Verfahren einzubeziehen. Ein wichtiger Schritt dazu war ein von HS/TSB mitgestalteter Kurs "Wiederkehrende Prüfungen an technischen Anlagen" an der Schule für Kerntechnik. In diesem Kurs wurde den für die Abwicklung der wiederkehrenden Prüfungen in den Organisationseinheiten zuständigen Betriebsbeauftragten das System der EDV-gestützten Erfassung und Terminüberwachung ausführlich erläutert, um sie in die Lage zu versetzen, innerhalb kürzester Zeit die Erfassung abzuschließen und anschließend in Zusammenarbeit mit den prüfenden Fachabteilungen und HS/TSB die erforderlichen Prüfungen termingerecht durchzuführen.

Da für einige Sachgebiete aus anderen Erfordernissen bereits zentrale Erfassungen von technischen Anlagen durch EKM/TAB (Druckbehälter, Aufzüge, Krane, Hebebühnen), HS/S (Brandmeldeanlagen, technische Störmeldungen), VBW/BW (Brandschutzklappen, Notbrausen), HS/R (Fortluftmonitoren), VBW/VB (Feuerlöscher) und HS/TSB (Fahrzeuge) durchgeführt worden waren, beschränkte sich die Erfassungsarbeit der Betriebsbeauftragten auf die restlichen, meist institutsspezifischen Einrichtungen. Zu diesem Zweck wurde von HS/TSB ein universelles Sachgebietsverzeichnis erstellt, in dem alle Prüfobjekte aus den einschlägigen Rechtsgrundlagen aufgelistet sind. In diesem Verzeichnis sollten die Betriebsbeauftragten die Objekte kennzeichnen, die in ihrem Zuständigkeitsbereich wiederkehrend zu prüfen sind. HS/TSB-Mitarbeiter halfen dabei durch Beratung vor Ort und führten mit den Betriebsbeauftragten Begehungen durch.

Anfang Dezember 1986 konnte die Erfassung der Prüfobjekte abgeschlossen werden. Ein Großteil der Prüfungen ist bereits in die EDV-gestützte Terminüberwachung eingebunden. Insgesamt sind ca. 4 000 Prüfobjekte erfaßt worden. Die Anzahl der Prüfobjekte ist nicht identisch mit der Anzahl der betroffenen Anlagengegenstände. Wird z. B. ein Gegenstand in drei unterschiedlichen Intervallen unterschiedlichen Prüfungen unterzogen, so wird dieser Gegenstand in der Prüfliste dreimal als Prüfobjekt aufgelistet. Werden aber z. B. fünf gleichartige Gegenstände in gleichen Intervallen der gleichen Prüfung unterzogen, so werden diese fünf Geräte nur einmal als Prüfobjekt aufgeführt und zum Prüftermin wird für diese 5 Geräte nur ein Prüfprotokoll ausgedruckt. Auf die 4 000 Prüfobjekte entfallen ca. 7 500 einzelne Anlagengegenstände.

Eine Aufschlüsselung der Prüfobjekte nach Sachgebieten und Prüfgrundlagen bietet Tab. 2/20. Bei den Prüfgrundlagen ist unterschieden worden zwischen Vorschriften aus dem Strahlenschutzrecht (StrlSchV, Auflagen in atomrechtlichen Genehmigungen) und konventionellen Vorschriften des Arbeitsschutzrechtes (Gewerbeordnung, Arbeitsstättenverordnung, Unfallverhütungsvorschriften).

Tab. 2/21 zeigt die Aufteilung der Prüfobjekte auf unterschiedliche Prüfintervalle und den erforderlichen Arbeitsaufwand bei Prüfungsdurchführung, der sich in der Anzahl der erforderlichen anlagenspezifischen Einzelprüfungen pro Jahr ausdrückt.

Eine wichtige Voraussetzung für die korrekte Durchführung der Prüfungen ist, daß entsprechende Prüfanweisungen vorhanden sind. Zu diesem Zweck wurde bei HS/TSB ein zentrales Archiv für Prüfanweisungen eingerichtet, in dem alle Prüfanweisungen, die im Bereich der KfK GmbH anzu-

wenden sind, gesammelt werden. HS/TSB prüft dann, inwieweit der Bedarf anderer Organisationseinheiten aus diesem Fundus gedeckt werden kann, da zahlreiche Prüfobjekte in gleicher Ausführung in vielen Organisationseinheiten vorhanden sind. Auf diese Weise können Mehrfacherstellungen vermieden werden.

Einen großen Teil der 70 bisher vorhandenen Prüfanweisungen stellten Organisationseinheiten der KfK GmbH zur Verfügung, einige wurden von HS/TSB erstellt und eine Prüfanweisung, die in allgemeingültiger Form alle Blitzschutzanlagen der KfK GmbH abdeckt, wurde bei einer Fremdfirma in Auftrag gegeben. Es ist geplant, die Komplettierung des Archivs für Prüfanweisungen Ende 1987 abzuschließen, so daß anschließend die EDV-gestützte Abwicklung der wiederkehrenden Prüfungen in vollem Umfang durchgeführt werden kann.

Sachgebiet	Anzahl der Prüfobjekte		
	insgesamt	davon aufgrund von Rechtsvorschriften aus dem Bereich Strahlenschutz	Arbeitsschutz
Bauanlagen	10	5	5
Verfahrenstechnische Anlagen	1 805	87	1 718
Strahlenschutz-Meßgeräte	193	193	0
Elektrotechnik	200	97	103
Lufttechnische Anlagen	200	126	74
Medienversorgung und -entsorgung	47	2	45
Kommunikationsanlagen	138	39	99
Brandschutzeinrichtungen	350	56	294
Notfalleinrichtungen	200	26	174
Objektsicherung	32	30	2
Hebe- und Fördermittel	463	5	458
Fahrzeuge	152	0	152
Betriebstechnische Einrichtungen	147	144	3
Summe absolut	3 937	810	3 127
in %	100	21	79

Tab. 2/20: Verteilung der bisher erfaßten Prüfobjekte auf Sachgebiete und Prüfgrundlagen

Prüfintervall in Monaten	Anzahl der Prüfobjekte in %	Anzahl der erforderlichen Prüfungen pro Jahr
1	3	3 180
3	8	2 876
6	2	762
12	35	3 657
24	7	290
36	2	32
48	3	36
60	23	182
> 60	17	85
Summe	100	11 100

Tab. 2/21: Prüfintervalle, Anteil der Prüfobjekte und Anzahl der Prüfungen

#### 2.6.4 Das rechnergestützte Buchführungssystem zur Kernmaterialüberwachung der KfK

W. Burck, H.-J. Henkenhaf

Nationale und internationale Vorschriften erfordern für den Umgang mit Kernmaterial eine umfangreiche Buchführung (s. Kap. 2.3.1). Die verschärften Ausführungsbestimmungen aus dem Jahr 1982 ließen es sinnvoll erscheinen, ein rechnergestütztes Kernmaterialüberwachungssystem zu installieren.

Für die KfK wird deshalb das Kernmaterial-Informationssystem K2 entwickelt. Das System, bestehend aus zwei Hauptteilen - nämlich dem HS/TSB-Teil und dem betrieblichen Teil - wird von IDT in enger Kooperation mit HS/TSB implementiert. Der HS/TSB-Teil, die sog. Euratom-Komponente, konnte nach längerer Testphase die manuelle Berichterstattung ersetzen.

Mit dem Schreiben vom 19.11.1986 erklärt sich EURATOM damit einverstanden, daß in Zukunft die Bestandsänderungsberichte für die Anlagen der KfK unter Angabe des der KfK mitgeteilten Identifizierungscodes auf Diskette gemeldet werden können. Die Grundstruktur des K2-Konzeptes ist gekennzeichnet durch eine variable Anzahl autonomer, verteilter Subsysteme. Innerhalb des Subsystems für HS/TSB werden die Funktionen

- Euratom-Bestandsänderungsbericht,
- Euratom-Materialbilanzbericht,
- Bestandsänderungen einfügen, korrigieren und löschen,
- Berichtigung gemeldeter Daten durch Streichen, Einfügen oder Ersetzen,
- Auszug aus Bestandsänderungen,
- Bestandsaufstellung nach Chargen pro Institut,
- Bestandsaufstellung nach Chargen pro MBZ,
- Bestandsaufstellung nach Kategorien pro Institut,
- Bestandsaufstellung nach Kategorien pro MBZ und
- Einhaltung der Höchstmengenrestriktionen für Kernmaterial und nicht aufarbeitungswürdigen Abfall

zur Verfügung gestellt. Der Systemstart kann automatisch mit dem Einschalten des PC oder durch expliziten Aufruf erfolgen. Anschließend meldet sich das System mit der Maske zur Erfassung der Benutzeridentifizierung und des Datenbanknamens. Der Datenbankname ist mit dem Namen der Materialbilanzzone identisch. Zugriff auf gespeicherte Daten oder Veränderungen in der Datenbasis durch Funktionen des DV-Systems darf nur berechtigten Personen möglich sein. Deshalb wird der Zugang zum DV-System durch eine "Log-on"-Prozedur geregelt. Der Benutzer identifiziert sich gegenüber dem System durch die Eingabe einer Benutzernummer. Jeder Benutzer gibt dann zusätzlich das nur ihm bekannte Benutzerkennzeichen ein. Erst wenn zur Benutzernummer das richtige Benutzerkennzeichen eingegeben worden ist, können Systemfunktionen abgerufen werden. Alle Eingaben erfolgen rechnergestützt über Menues (siehe Abb. 2/17) anhand von sogenannten Masken (siehe Abb. 2/18). Die Aktivierung von Funktionen erfolgt über Funktionstasten, wobei die Bedeutung der Funktionstasten auf dem Bildschirm angezeigt wird.

Nach dem Aufruf der Funktion "Buchung von Bestandsänderungen" erfolgt die Ausgabe der unter Abb. 2/18 dargestellten Maske. Anschließend kann der Bediener die angeforderten Daten eingeben. Alle Daten werden einer Plausibilitätsprüfung unterzogen und bei positivem Ergebnis in der Datenbasis abgelegt. Bei fehlerhaften Daten wird der Bediener durch Klartext und die Position der Schreibmarke des Bildschirms auf die fehlerhaften Daten hingewiesen und zur Korrektur aufgefordert.

```
HS/TSB-Funktionen                HS/TSB-Version    31-12-86 09:19:16

Menue

    BUCHUNGEN
    Buchung von Bestandsaenderungen
    Buchungen aendern/loeschen
    Berichtigen von EURATOM-Buchungen durch Streichen/Ersetzen
    Berichtigen von EURATOM-Buchungen durch Anfuegen

    BERICHTE
    Protokoll
    Auszug aus Bestandsaenderungen
    Bestandsaufstellungen
    EURATOM - Berichte

    SONSTIGES
    Bestandsaenderungsdaten der MBZ's
    Meldungen der MBZ's
    Material-Bilanz Abschluss
    Allgemeine Hilfsfunktionen

                                3: WEITER                                7: ENDE
```

Abb. 2/17: Beispiel eines Menues (EURATOM/HS-TSB Funktionen)

```
Buchung von Bestandsaenderungen                HS/TSB-Version    31-12-86
-----

MBZ..... : XXXX                Korresp. Angaben.. : XXXXXXXX
Datum des Vorgangs : 011286        Berichtigung..... :
Messung..... : N                Urspr. Datum..... :
Art der Aenderung.. : RD          Institut..... : YYYY
Korresp. Anlage... : XXXXXXXXXX    Physik. Form..... :
Korresp. MBZ..... : YYYY          Name des Buchenden : XXXXXXXXXXXXX
Charge..... : 00000000          U-235 (%) ..... : 0.000
Anzahl Posten..... : 000000        Bemerkung ..... :
Mat. Beschreibung : LNFF          Lieferschein Nr... : 00/000
Element..... : L                Absendendes Inst . :
    Gewicht..... : 0.000000000000
    Einheit..... : G
Isotop..... : G
    Gewicht..... : 0.000000000000
    Einheit..... : G
Verpflichtung..... : A
Verwendung..... : CH

1: ENDE                3: BUCHEN
```

Abb. 2/18: Beispiel einer Bestandsaenderungsbuchung

Mit der Funktion "Euratom Berichte" können Bestandsänderungsberichte (siehe Abb. 2/19) erstellt und der Kernmaterialbestand nach Kategorien (siehe Abb. 2/20) von den verschiedenen Anlagen im KfK ausgewiesen werden. Im Gegensatz zu den in den jeweiligen Tabellenköpfen der beiden Abbildungen 2/19 und 2/20 zum Teil willkürlich gewählten Abkürzungen, die in den Abbildungen selbst erklärt werden, handelt es sich bei allen anderen Abkürzungen innerhalb der einzelnen Spalten ausschließlich um von der Euratom-Rechtsverordnung vorgeschriebene Codes.

Zur Inbetriebnahme des Gesamtsystems muß noch der eingangs erwähnte betriebliche Teil realisiert und eine zuverlässige Kopplung zwischen den Rechnern der Subsysteme und dem HDI-Rechner implementiert werden.

KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN  
UEBERWACHUNG DER SICHERHEIT VON EURATOM

Seite: 1

BESTANDSAENDERUNGSBERICHT

Anlage, fuer die der Bericht erstattet wird: Kernforschungszentrum GmbH  
Berichtszeitraum von 000000 bis 999999

MBZ	DATUM T M J	S M	M E	B A	KOR- RESP. MBZ	CHARGEN- BEZ.	ANZ DER POS.	MAT. BE- SCHR.	E L E	GEWICHT DES ELEMENTS	E I S O	GEWICHT DER SP. ISOTOPE	E V I F W	V E W	KOR- RESP. ANGABEN	B U C H	B E R I C H T D A T U M T M J	INST
I WABC	151086	*	N	NM		100	1	EASI	D	1.000	G			A	CH			
I WABC	151086	3	M	LD		100	1	ADDN	N	1.000	G			A	CH			
I WABC	151086	2	N	SD	WXYZ	100	1	EROI	P	1.000	G			A	CH			
I WABC	151086	1	N	RD	WEEE	100	1	EROI	H	0.200	G	0.100		A	CH			
I WABC	151086	*	N	NM		100	1	EASI	H	0.020	G	0.010	G	A	CH			
I WABC	151086	1	N	RD		100	1	EROI	L	1.200	G	0.200	G	F	CH			
I WABC	151086	*	N	NM		100	1	EASI	L	0.020	G	0.010	G	A	CH			
I WABC	151086	*	N	NM		100	1	PHPF	T	1.000	G			F	CH			
I WABC	311086			BA					D	2.000	G			F	A			
I WABC	311086			BA					D	3.000	G			A				
I WABC	311086			BA					D	5.000	G				SUMME	N		
I WABC	311086			BA					H	0.200	G	0.100	G	A				
I WABC	311086			BA					H	0.100	G	0.050	G	F				
I WABC	311086			BA					H	0.020	G	0.020	G	A				
I WABC	311086			BA					H	0.300	G	0.150	G		SUMME	N		
I WABC	311086			BA					H	0.020	G	0.020	G	K				
I WABC	311086			BA					L	1.200	G	0.100	G	A				
I WABC	311086			BA					L	0.100	G	0.010	G	D				
I WABC	311086			BA					L	1.300	G	0.110	G		SUMME	N		
I WABC	311086			BA					N	1.000	G			A				
I WABC	311086			BA					N	1.000	G			N				
I WABC	311086			BA					N	2.000	G				SUMME	N		
I WABC	311086			BA					P	0.100	G			F				
I WABC	311086			BA					P	0.100	G							
I WABC	311086			BA					P	0.200	G				SUMME	N		
I WABC	311086			BA					T	1.000	G			N				
I WABC	311086			BA					T	1.000	G			F				
I WABC	311086			BA					T	2.000	G				SUMME	N		

Verwendete Abkürzungen:

- |                          |                        |                     |                    |
|--------------------------|------------------------|---------------------|--------------------|
| MBZ = Materialbilanzzone | BAE = Bestandsänderung | ISO = Isotop        | BUC = Buchung      |
| SMP = Schlüsselmeßpunkt  | ELE = Element          | VPF = Verpflichtung | BER = Berichtigung |
| MES = Messung            | EIN = Einheit          | VEW = Verwendung    | BA = Buchbestand   |

Abb. 2/19: Beispiel eines Bestandsänderungsberichtes

KERNMATERIALBESTAND NACH KATEGORIEN HS/TSB				SEITE 1
ANLAGE: XXXX				
KATEGORIEN: D,N,L,H,F,T				
*-----*				
:	: DATUM :	: E: GEWICHT :	: E: I: GEWICHT :	: E: :
:	: INST: :	: L: DES :	: I: S: DER SF. :	: I: VFF.:
:	: T M J :	: E: ELEMENTS :	: N: G: ISOTOPE :	: N: :
*-----*				
:	: XXXX:000000:D:	1.000:G:	:	: : A :
:	: XXXX:000000:D:	11.000:G:	:	: : F :
:	: XXXX:000000:D:	12.000:G:	:	: : SUM.:
*-----*				
:	: XXXX:000000:H:	1.000:G:G:	0.500:G:A	:
:	: XXXX:000000:H:	1.000:G:G:	0.500:G:SUM.	:
:	: XXXX:000000:H:	0.010:G:K:	0.010:G:	:
:	: XXXX:000000:H:	0.010:G:K:	0.010:G:SUM.	:
*-----*				
:	: XXXX:000000:L:	1.000:G:G:	0.050:G:A	:
:	: XXXX:000000:L:	1.000:G:G:	0.100:G:F	:
:	: XXXX:000000:L:	2.000:G:G:	0.150:G:SUM.	:
*-----*				
:	: XXXX:000000:N:	1.000:G:	:	: : A :
:	: XXXX:000000:N:	111.000:G:	:	: : F :
:	: XXXX:000000:N:	112.000:G:	:	: : SUM.:
*-----*				
:	: XXXX:000000:F:	1.000:G:	:	: : A :
:	: XXXX:000000:F:	13.000:G:	:	: : F :
:	: XXXX:000000:F:	14.000:G:	:	: : SUM.:
*-----*				
:	: XXXX:000000:T:	1.000:G:	:	: : A :
:	: XXXX:000000:T:	1.000:G:	:	: : SUM.:
*-----*				
Verwendete Abkürzungen:				
ELE = Element		ISO = Isotop		
EIN = Einheit		VFF = Verpflichtung		

Abb. 2/20: Ausweis des Kernmaterialbestandes einer bestimmten Anlage

### 3           Sicherung

R. von Holleuffer-Kypke

Im Berichtsjahr 1986 war die Sicherheitslage deutlich von den Ereignissen geprägt. Nachdem sich die schon seit 1984 abzeichnende Entspannung anfangs weiter durchsetzte, kam mit dem Ereignis in Tschernobyl eine Wende. Äußeres Kennzeichen für diese Veränderungen waren zwei Demonstrationen vor den Toren der KfK am 17.05. und am 20.09.86. Beide Demonstrationen, veranstaltet von Gruppierungen aus der näheren Umgebung, verliefen ohne Zwischenfälle.

Im Zusammenhang mit der Stilllegung des FR2 und der SNEAK konnten die dortigen Sicherungsmaßnahmen abgebaut und das eingesetzte Personal abgezogen werden. Lediglich das Lager für Kernbrennstäbe im FR2 bleibt als sicherungsrelevanter Bereich, jedoch ohne personalintensive Betreuung, bestehen. Neubesetzt werden mußte im Berichtszeitraum die fertiggestellte Sicherungspforte bei KTB/HZ.

Das eingeleitete Einigungsstellenverfahren zur Einführung eines rechnergestützten Zugangskontrollsystems bei HDB führte Anfang des Jahres zu einem Einigungsspruch. Die Umsetzung der im Einigungsspruch festgelegten Modalitäten wurde in Angriff genommen.

Der für den Baubeginn des OSD-Personalbaues festgelegte Termin konnte eingehalten werden. Fristgerecht wurde im November der Rohbau fertiggestellt, ein termingerechter Innenausbau mit Übergabe 1987 ist damit gewährleistet.

#### 3.1       Objektsicherung

##### 3.1.1   Objektsicherungsdienst

F. Paltian

Die Personalstärke des Objektsicherungsdienstes in der Abteilung Sicherung hat sich im Kernforschungszentrum dem Stand, der für eine Durchführung von Objektsicherungsaufgaben notwendig war, angepaßt und stellt sich wie folgt dar: 7 Mitarbeiter sind ausgeschieden, davon 1 Mitarbeiter bis November 1987 als vorläufig erwerbsunfähig, 5 Mitarbeiter wurden eingestellt, davon 1 Mitarbeiter mit Zeitvertrag bis November 1987.

Der OSD führt pro Woche folgende Streifen durch:

288 Streifen in Gebäuden und im Freigelände einschl. der KHG,  
203 Streifen in sensitiven Lagerbereichen und Anlagen,  
189 Streifen in Versuchsanlagenbereichen.

Zusätzlich wurden 4 Sicherungsbereiche kontinuierlich, 1 Sicherungsbereich mehrmals stündlich bestreift. OSD-Mitarbeiter überwachten permanent die General-Zaunanlage, Diensthundeführer die bewaldeten Gebiete des Kernforschungszentrums. Bei Bauarbeiten an sensitiven Objekten wurden für Sicherungsaufgaben während der normalen Arbeitszeit Mitarbeiter des OSD eingesetzt.

In regelmäßigen Abständen außerhalb der normalen Dienstzeit überprüfte der OSD im Rahmen der Streifentätigkeiten 146 angemeldete wissenschaftlich-technische Experimente. Darüber hinaus wurden Sicherungsalarmübungen in verschiedenen Sicherungsbereichen und 21 Alarmübungen in Zusammenarbeit mit den Objektsicherungsdiensten der WAK, KBG und des TU abgehalten.

Der Streifendienst hat im Berichtszeitraum 695 Verschlußmängel und 505 Mängel an und in Gebäuden sowie an technischen Einrichtungen registriert und deren Behebung veranlaßt.

### 3.1.2 Alarmzentrale

G. Beck

Im Jahr 1986 sind in der Alarmzentrale die in Tabelle 3/1 aufgeführten Alarm- und Störmeldungen (unter Berücksichtigung der Fehlalarme) eingegangen und bearbeitet worden.

Gruppe:	Anzahl:
Objektsicherung	249
Feuer-	312
Strahlen (Strahlenwarnung/ Strahlenabluft-Gelände/ Kritikalität)	113
Wasser (Sandfänge)	113
Alarmübungen (Technische Sicherheit/ Objektschutz)	71
Überwachungsanlagen (Aufzüge/Stromstörungen/ Versuchsüberwachung/ technische Einrichtungen)	523
Allgemeine Meldungen	2 052

Tab. 3/1: Eingegangene Alarm- und Störmeldungen 1986

Im Vergleich zum Vorjahr haben sich die Objektsicherungs- und Feueralarme sowie die allgemeinen Störmeldungen erheblich erhöht. Die Steigerungsrate ist auf die Inbetriebnahme neuer Meldelinien sowie auf Fehlbedienung der Überwachungseinrichtungen zurückzuführen.

Im Berichtszeitraum wurden in der Alarmzentrale die in Tabelle 3/2 ausgewiesenen Einsätze dokumentiert.

Einsatzleiter vom Dienst	340
Feuerwehr	204
Rufbereitschaften	474
Strahlenschutz	340
Versuchsleiter	61
VBW-Wartungsdienst	1 061
HDB-Klärwerkpersonal	72
Betriebsverantwortliche	184
Sankra-Deko	159

Tab. 3/2: Registrierte Einsätze 1986

Alle in der Alarmzentrale tätigen Mitarbeiter wurden weiterhin praxisbezogen fortgebildet, so daß in diesem Bereich ein fachkundiger Umgang mit den hochentwickelten technischen Systemen

garantiert ist.

Durch den Zuwachs an Aufgaben und der dabei zu bewältigenden schriftlichen Dokumentation aller eingehenden Meldungen, wurden auf dem Rechner der Alarmzentrale alle gängigen Meldungs-Vordrucke eingegeben, so daß deren Bearbeitung vereinfacht wird. Die rechnergestützten Systeme in der Alarmzentrale waren softwaremäßig zu überarbeiten, um Alarm- und Störmeldungen zügig abarbeiten zu können. Die hierzu erforderlichen technischen und administrativen Informationen mußten beschafft, die diesbezüglichen Alarmdateien ständig aktualisiert werden. Redundant zu den vorhandenen Softwarepaketen werden Sicherungsdaten in Handdateien geführt.

### 3.1.3 Objektsicherungszentralen

Zur Durchführung der vielfältigen Aufgaben bei der Alarmbearbeitung und zum direkten, schnellen Zugriff auf Alarmierungshinweise sind in den Objektsicherungszentralen Rechner installiert. Die erforderlichen Bezugsdaten für die rechnergestützten Gefahrenmeldeanlagen wurden überarbeitet bzw. eingegeben. Ebenfalls wird redundant eine Handdatei geführt.

### 3.1.4 Güterkontrolle

G. Hanuschka

Die zentrale Güterkontrolle hat in nunmehr fünfjährigem Betrieb wesentlich zur Verkehrsberuhigung an den Zugängen am Nord- und Südtor beigetragen.

Die Mitarbeiter der Güterkontrolle stellten im Berichtszeitraum für Fremdfirmen und Anlieferer 33 791 Warendurchlaßpassierscheine und für Anlieferer und Abholer sonstiger radioaktiver Stoffe und Kernbrennstoffe 1 747 Durchlaßpassierscheine aus.

106 neue Fremdfirmen wurden erstmals registriert und 1 723 fremdfirmen-eigene Geräte gekennzeichnet.

Außerdem erfolgten 259 Schrottverwiegungen und -begleitungen, 34 Papiertransportbegleitungen nach Karlsruhe und 7 700 Paketkontrollen im Hauptlager. Insgesamt betrug die Zahl aller kontrollierten ein- und ausfahrenden Fahrzeuge 126 600. Der Strahlenschutz wurde 1 204mal eingesetzt.

Wegen fehlender oder abgelaufener Personalpapiere mußten 295 Fremdfirmenangehörige abgewiesen bzw. von den Geschäftspartnern im KfK an der zentralen Güterkontrolle abgeholt und wieder zurückbegleitet werden.

Die im Kernforschungszentrum tätigen Fremdfirmen hielten sich weitgehend an die Ordnungs- und Kontrollbestimmungen. 16 vorläufige Sicherstellungen wurden, bis auf drei Fälle, nach Klärung der Eigentumsverhältnisse wieder aufgehoben.

### 3.1.5 Ausbildung

G. Beck

Die Aus- und Weiterbildung der OSD-Mitarbeiter wurde im vergangenen Jahr anhand von Fallbeispielen betriebsbezogen durchgeführt. Ein Teil dieser Ausbildung wurde mit Videosystemen auf-

gezeichnet und diente der Schulung unserer Mitarbeiter. Unterrichtsschwerpunkte waren Rechts- und Dienstkunde sowie die Ausbildung der in den Objektsicherungszentralen tätigen Mitarbeiter, deren Einsatz gründliche Kenntnisse der in diesen Bereichen installierten technischen Systeme voraussetzt.

Neben diesen Objektschutz-Lehrgängen besuchten die Mitarbeiter ex- und interne Werkschutzseminare zu den Themen

- Personen- und Objektschutz,
- betrieblicher Katastrophenschutz,
- Bekämpfung von Wirtschaftsstraftaten,
- Bombendrohungen,
- Geheimschutz.

8 Mitarbeiter bestanden mit Erfolg bei der IHK die Prüfung zur Werkschutzfachkraft. 22 Mitarbeiter nahmen entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen (VBG 109) für das Fahren von Kranwagen an einem Wiederholungslehrgang "Herz-Lungen-Wiederbelebung" teil. 3 neuingestellte Mitarbeiter wurden in "Erste Hilfe" ausgebildet.

Die Waffenausbildung im OSD wurde theoretisch und praktisch fortgeführt. 4 Mitarbeiter haben mit Erfolg die Sachkundeprüfung gemäß § 31 Waffengesetz beim Regierungspräsidium Karlsruhe abgelegt. 147 Mitarbeiter nahmen an Kurzlehrgängen zum Thema "Umgang mit Schußwaffen" teil.

### 3.1.6 Diensthundestaffel

B. Ritz

Im Berichtszeitraum haben 39 Hundeführer ein Programm von 10 Schutzhunde-Lehrgängen mit Erfolg abgeschlossen. Bei der 8. KfK-Schutzhundeprüfung erzielten die 18 Teilnehmer mit ihren Diensthunden wiederum hervorragende Noten. 12 Hundeführer nahmen zusätzlich an Prüfungen der umliegenden Ortsvereine teil.

Derzeit verfügt der OSD über 21 einsatzfähige, gut ausgebildete Diensthunde. Die Einsatzzeit der Diensthundeführer und ihrer Schutzhunde belief sich im Jahr 1986 auf insgesamt 26 544 Stunden, die sich nach Einsatzart und -dauer wie folgt aufgliedern:

AVT-Trupp, Tor Nord	64,0 %
Gelände- und Streifendienst	28,3 %
Schutzhundelehrgänge	6,3 %
Ausbildung während der Dienstzeit	2,2 %

### 3.2 Technische Sicherungssysteme

R. Günther

Für verschiedene kerntechnische Einrichtungen im Kernforschungszentrum Karlsruhe wurden technische Sicherungssysteme hauptsächlich bei Back-fitting-Anlagen in Zusammenarbeit mit den Hauptabteilungen Bau und VBW weiterhin vervollständigt.

Bei KTB/HZ konnte am 1. Juni 1986 die neue Sicherungspfortnerei in Betrieb genommen werden.

Sie ist mit fachkundigem OSD-Personal besetzt. Über die Sicherungspfortnerei erfolgt der gesamte Personenzugang zum Sicherungsbereich "Heiße Zellen". Der OSD bedient und überwacht die Sicherungs- und Kommunikationseinrichtungen wie

- Einbruchmeldeanlage
- Videoanlage
- Kommandorufanlage und
- Zugangskontrollsystem.

Die Einrichtung der Sicherungspfortnerei wurde zur Erfüllung von Sicherungsaufgaben notwendig, um die neue Umgangsgenehmigung für die Untersuchung von radioaktiven Materialien zu erhalten.

Die Objektsicherungszentrale im HDB-Lagerbereich war für den jetzigen Standort als Übergangslösung vorgesehen. Deshalb wurden hinsichtlich der baulichen Ausführung und der Arbeitsplatzbedingungen Einschränkungen akzeptiert. Im Zuge von Kosteneinsparungen wurde jedoch dieser Standort zur Dauereinrichtung bestimmt. Auf dieser neuen Grundlage müssen jetzt die Arbeitsplatzbedingungen verbessert und, aus Strahlenschutzgründen, ein anderer Zugang in die Objektsicherungszentrale vorgesehen werden. Dies bedeutet, daß der Zugang in den westlichen Teil des Lagergebäudes verlegt wird und Räume für Technik und stationäre Einrichtungen geschaffen werden. Die konzipierten baulichen Veränderungen wurden den Genehmigungsbehörden zur Stellungnahme eingereicht. Nach Erhalt des positiven Bescheids konnte mit der detaillierten baulichen Planung begonnen werden.

Eine neue Sicherungskonzeption wurde für das Institut IMF III entwickelt und die Zustimmung bei den zuständigen Genehmigungsbehörden eingeholt. Mit diesem Sicherungskonzept konnte eine kostengünstige Sicherungslösung gefunden werden.

Für das CAD/CAM-Labor in Karlsruhe wurde eine Sicherheitsanalyse durchgeführt. Die daraus resultierenden Sicherungsmaßnahmen wurden in einem Konzept dargelegt, das in Sofortmaßnahmen und weiterführende Maßnahmen untergliedert ist und dadurch dem jeweiligen Sicherheitsbedürfnis entsprechend realisiert werden kann.

### 3.3 Ermittlungsdienste

#### A. Baumgärtner

134 Verstöße gegen die im Kernforschungszentrum Karlsruhe geltenden Ordnungs- und Kontrollbestimmungen wurden 1986 registriert und bearbeitet. Dabei kam es wegen Fehlens der erforderlichen Ausfuhrpapiere zu 38 Sicherstellungen. Alle beanstandeten Geräte bzw. Materialien wurden - ausgenommen 3 Fälle, bei denen sich der Verdacht der Unterschlagung ergeben hatte - den Eigentümern zurückgegeben, nachdem der Eigentumsnachweis erbracht worden war.

Die Zahl der bekannt gewordenen und dem Ermittlungsdienst gemeldeten Sachbeschädigungen belief sich im vergangenen Jahr auf 75 Fälle. Demnach ist ein leichter Rückgang gegenüber 1985 feststellbar (s. Tab. 3/3). Die Schadensverursacher konnten bis auf 3 Fälle ermittelt und dem KfK-Versicherungsreferat mitgeteilt werden. Der aus den Sachbeschädigungen ermittelte Gesamtschaden beläuft sich auf 101 874 DM.

Von den gemeldeten 47 Diebstählen konnten 29 aufgeklärt werden. Die Anzahl der gemeldeten Diebstähle zum Nachteil der KfK ist gegenüber früheren Jahren auffallend zurückgegangen, während die Anzahl der Gelddiebstähle auf dem Niveau der Vorjahre liegt.

1986 wurden in Zusammenarbeit mit den zuständigen Fachabteilungen 149 Betriebsunfälle bzw. sonstige Unfälle innerhalb des Zentrums untersucht.

Beschädigte Gegenstände	Jahr	bekannt gewordene Fälle	aufgeklärte Fälle	geschätzter Schaden in DM
Kabelschäden	1984	9	9	16 000
	1985	10	10	7 500
	1986	6	6	8 300
Lichtmasten	1984	4	4	8 000
	1985	8	8	15 000
	1986	3	3	6 000
Tore, Einzäunungen	1984	4	3	2 500
	1985	3	3	3 500
	1986	8	7	7 500
Gebäude	1984	11	10	22 000
	1985	14	12	49 000
	1986	7	7	11 000
Dienst-Kfz.	1984	11	11	15 200
	1985	29	28	61 730
	1986	12	12	18 074
Verschiedenes (Fenster, Türen, Bedachungen, Transport-, Sturmschäden)	1984	17	16	169 000
	1985	21	20	45 000
	1986	39	37	51 000
Summe:	1984	56	53	233 300
	1985	85	81	181 730
	1986	75	72	101 874

Tab. 3/3 Sachbeschädigungen: Einsatz des Ermittlungsdienstes

### 3.4 Schließwesen

#### M. Schwall

Die KfK GmbH mit ihrer Vielzahl von Gebäuden ist hinsichtlich der Schließebenen in General-, Haupt-, Obergruppen- und Einzelschließungen unterteilt. Der jeweils übergeordnete Schlüssel beschließt sämtliche Schließzylinder der betreffenden Ebenen. Aus allen Schließsystemen ergibt sich ein Bestand von ca. 22 000 Schließzylindern und etwa 75 000 Einzelschlüssel. Nach der Neukonzeption von Schließanlagen, die sich wegen der Errichtung von Neubauten oder durch Änderungen in Arbeitsabläufen ergaben, mußten im Jahr 1986, wie schon in den vorangegangenen Jahren ca. 1 500 Schließzylinder und entsprechende Schlüssel neu beschafft werden. Weitere 300 Schließzylinder und Schlüssel waren defekt oder abgenutzt, sie mußten daher erneuert bzw. ausgetauscht werden.

### 3.5 Verkehrsdienste

#### W. Hauth

75 Verkehrsunfälle, davon 56 auf dem Gelände des Kernforschungszentrums, wurden vom Verkehrsdienst aufgenommen und bearbeitet. Damit liegt die Zahl der Verkehrsunfälle, wenn man die außergewöhnlich geringe Unfallzahl von 1984 außer acht läßt, auf dem Niveau der Vorjahre. Bei 38

Unfällen entstand nur leichter Sachschaden, bei 29 Unfällen lag der geschätzte Schaden pro Unfall über 1 000 DM. Darüber hinaus waren 8 Unfälle mit Personenschäden zu bearbeiten (s. Tab. 3/4). Die häufigsten Unfallursachen waren:

- Nichtbeachten der Vorfahrt,
- zu geringer Sicherheitsabstand,
- Unachtsamkeit beim Rückwärtsfahren,
- nicht witterungsgerechtes Fahrverhalten bei Regen und in der Winterzeit.

Bei der Verkehrszählung am 09.12.86 wurden die in den Tabellen 3/5 bis 3/7 aufgelisteten Verkehrsströme ermittelt.

### 3.6 Buskontrollen

F. Gergele, M. Schwall

Im ersten Halbjahr 1986 sind in den KfK-Zubringerbussen bei 9 666 Fahrgästen Fahrausweiskontrollen durchgeführt worden. Keinen Fahrausweis vorlegen konnten davon 94 Personen. Mit der laut Betriebsvereinbarung festgelegten Bearbeitungspauschalen wurden 33 Personen belastet, da sie keine nachgelösten Fahrkarten innerhalb der vorgegebenen Frist vorlegten.

Im zweiten Halbjahr wurden keine Kontrollen durchgeführt. Die Ausgabe der Berechtigungen für eine kostenlose Benutzung der KfK-Zubringerbusse hatte sich aus technischen Gründen verzögert und mußte für 4 265 Mitarbeiter überprüft und bei Bedarf erstellt werden.

### 3.7 Personelle und administrative Sicherungsfragen

#### 3.7.1 Personenüberprüfung

G. Körner

Im vergangenen Jahr hat die Gruppe Personenüberprüfung gemäß den entsprechenden atomrechtlichen Auflagen 2 212 Anträge zu Personenüberprüfungen bei den Behörden eingereicht, die hauptsächlich Zutrittssuchen zu inneren Sicherungsbereichen betrafen. In 102 Fällen handelte es sich um Zutrittssuchen zu äußeren Sicherungsbereichen. Für 55 Personen, sogenanntes Führungs- und Schlüsselpersonal, waren Sicherheitsüberprüfungen einzuleiten. Die Behörden haben lediglich 11 Mitarbeitern von Fremdunternehmen den Zutritt zu sensitiven Bereichen untersagt. Die Betroffenen und deren Arbeitgeber sind über den Sachverhalt informiert worden.

Für 1 211 Personen wurden Anträge auf Zutritt zum KfK-Gelände außerhalb der normalen Arbeitszeit bearbeitet.

#### 3.7.2 Ausweisbüro

E. Karbstein

Im Berichtsjahr wurden insgesamt 6 651 neue KfK-Ausweise ausgegeben. Dabei waren ca. 3 800 Ausweise von KfK-Mitarbeitern wegen Ablauf ihrer Gültigkeit sowie 210 Ausweise wegen Unbrauchbarkeit, 118 wegen Änderungen von Namen, Abteilungszugehörigkeit usw. und 257 wegen Ausweisverlustes neu zu fertigen. 127 in den Ruhestand tretende KfK-Mitarbeiter erhielten ebenfalls neue Ausweise.

Bedingt durch den Terminzwang bei der Neuausstellung der abgelaufenen KfK-Mitarbeiter-Ausweise, sind im Berichtszeitraum keine Firmen wegen noch nicht zurückgegebener ungültiger Ausweise angemahnt worden.

### 3.7.3 Empfangsdienst

#### E. Wischuf

Die Anzahl der Besucher lag im Berichtszeitraum auf dem gleichen Niveau wie im Jahr zuvor. So wurden insgesamt 40 500 Besucher, davon 3 800 Ausländer registriert.

Für kurzfristig im KfK eingesetzte Fremdfirmenangehörige wurden 3 845 befristete Werksausweise ausgestellt.

Beim Empfangsdienst wurden im Jahr 1986 99 Fundgegenstände abgegeben. 38 Fundgegenstände wurden an die rechtmäßigen Besitzer ausgehändigt, 61 Fundgegenstände sind z. Z. noch archiviert.

### 3.7.4 Ausländerbetreuung

#### F. Gergele

Die Anzahl der zu betreuenden Ausländer nahm gegenüber dem Vorjahr um 56 Personen zu, so daß im Berichtszeitraum 490 Ausländer betreut worden sind.

Im Rahmen der Ausländerbetreuung bei der SKT wurden wiederum 4 SKT-Kurse mit insgesamt 127 ausländischen Gästen aus 39 Ländern betreut. Es war damit eine Teilnehmersteigerung von 8,6% gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen.

Anzahl der Verkehrs- unfälle (einschl. Wegeunfälle)				davon			betroffene				
	Monat	1984	1985	1986	leichter Sach- schaden	Sach- schaden > 1 TDM	Personen- schaden	Mit- arbeiter	Personen sonst. Pers.	Pkw	Lkw
Jan.	5	12	7	2	5	-	7	4	8	2	2
Feb.	6	10	7	5	1	1	8	4	11	-	3
März	5	6	4	2	1	1	3	1	4	2	2
Apr.	3	10	5	1	3	1	5	-	7	1	5
Mai	3	8	5	2	3	-	5	4	5	-	5
Juni	4	6	7	4	3	-	7	3	8	1	3
Juli	7	7	11	6	3	2	10	6	10	3	6
Aug.	4	1	8	5	2	1	9	5	10	-	5
Sept.	3	1	8	3	4	1	8	5	9	-	5
Okt.	10	7	7	6	-	1	6	5	6	2	5
Nov.	8	11	2	-	2	-	1	2	2	-	
Dez.	4	7	4	2	2	-	3	3	2	2	2
Summe:	62	86	75	38	29	8	72	42	82	15	43

Tab. 3/4: Verkehrsunfälle

Zeit :	Pkw		Lkw, Kombi, Busse		Kräder, Moped		Fahrräder	
	Ein- fahrt	Aus- fahrt	Ein- fahrt	Aus- fahrt	Ein- fahrt	Aus- fahrt	Ein- fahrt	Aus- fahrt
0.00 - 5.00	3	9	-	-	-	-	-	1
5.00 - 6.00	46	5	3	3	-	-	-	-
6.00 - 7.00	126	47	12	5	1	-	4	-
7.00 - 8.00	794	19	39	14	5	-	95	9
8.00 - 9.00	944	73	43	32	11	11	138	16
9.00 - 10.00	206	98	16	18	8	3	31	8
10.00 - 11.00	166	113	17	20	1	1	12	9
11.00 - 12.00	102	343	13	23	3	1	6	46
12.00 - 13.00	331	384	14	22	4	7	71	70
13.00 - 14.00	382	122	25	15	4	1	46	18
14.00 - 15.00	110	175	17	21	2	2	6	6
15.00 - 16.00	66	273	16	13	5	5	8	19
16.00 - 17.00	34	1065	27	125	1	8	-	164
17.00 - 18.00	26	374	4	18	-	-	6	54
18.00 - 19.00	7	143	1	11	-	1	3	18
19.00 - 20.00	10	66	5	3	-	-	2	9
20.00 - 21.00	5	21	-	5	-	-	1	1
21.00 - 24.00	52	76	7	6	-	-	1	4
Insgesamt :	3410	3406	259	354	45	40	430	542

Tab. 3/5: Verkehrszählung am 09.12.86 von 0.00 bis 24.00 Uhr  
Einfahrt und Ausfahrt Tor 1 (Haupttor)

Zeit :	Pkw		Lkw, Kombi, Busse		Kräder, Moped		Fahrräder	
	Ein-fahrt	Aus-fahrt	Ein-fahrt	Aus-fahrt	Ein-fahrt	Aus-fahrt	Ein-fahrt	Aus-fahrt
0.00 - 5.00	-	3	-	-	-	-	-	-
5.00 - 6.00	58	4	3	2	-	-	-	-
6.00 - 7.00	108	28	2	4	-	-	7	1
7.00 - 8.00	484	3	23	1	5	-	40	-
8.00 - 9.00	321	11	20	11	1	-	18	-
9.00 - 10.00	27	6	1	1	-	-	2	-
10.00 - 11.00	22	16	3	4	-	-	-	-
11.00 - 12.00	20	79	4	4	-	-	1	1
12.00 - 13.00	53	107	4	8	-	-	4	6
13.00 - 14.00	110	15	6	7	1	-	2	1
14.00 - 15.00	19	68	2	4	-	-	-	-
15.00 - 16.00	8	105	1	1	-	-	-	5
16.00 - 17.00	13	598	2	34	-	7	-	37
17.00 - 18.00	6	137	2	5	-	-	-	7
18.00 - 19.00	5	31	2	2	-	-	-	4
19.00 - 20.00	2	19	5	5	-	-	-	2
20.00 - 21.00	1	8	-	-	-	-	-	1
21.00 - 24.00	31	47	4	2	-	1	-	1
Insgesamt :	1288	1285	84	95	7	8	74	66

Tab. 3/6: Verkehrszählung am 09.12.86 von 0.00 bis 24.00 Uhr  
Einfahrt und Ausfahrt Tor 7 (Nordtor)

Zeit :	Pkw		Lkw, Kombi, Busse		Kräder, Moped		Fahrräder	
	Ein-fahrt	Aus-fahrt	Ein-fahrt	Aus-fahrt	Ein-fahrt	Aus-fahrt	Ein-fahrt	Aus-fahrt
0.00 - 5.00								
5.00 - 6.00								
6.00 - 7.00								
7.00 - 8.00	8	6	30	8				
8.00 - 9.00	20	7	35	9				
9.00 - 10.00	15	11	20	15				
10.00 - 11.00	15	12	30	27				
11.00 - 12.00	15	15	20	14				
12.00 - 13.00	10	6	20	14				
13.00 - 14.00	11	11	9	18				
14.00 - 15.00	15	12	17	19				
15.00 - 16.00	4	4	2	2				
16.00 - 17.00								
17.00 - 18.00								
18.00 - 19.00								
19.00 - 20.00								
20.00 - 21.00								
21.00 - 24.00								
Insgesamt :	113	84	183	126				

Tab. 3/7: Verkehrszählung am 09.12.86 von 0.00 bis 24.00 Uhr  
Einfahrt und Ausfahrt Tor 10 (zentrale Güterkontrolle)

4 Strahlenschutzüberwachung

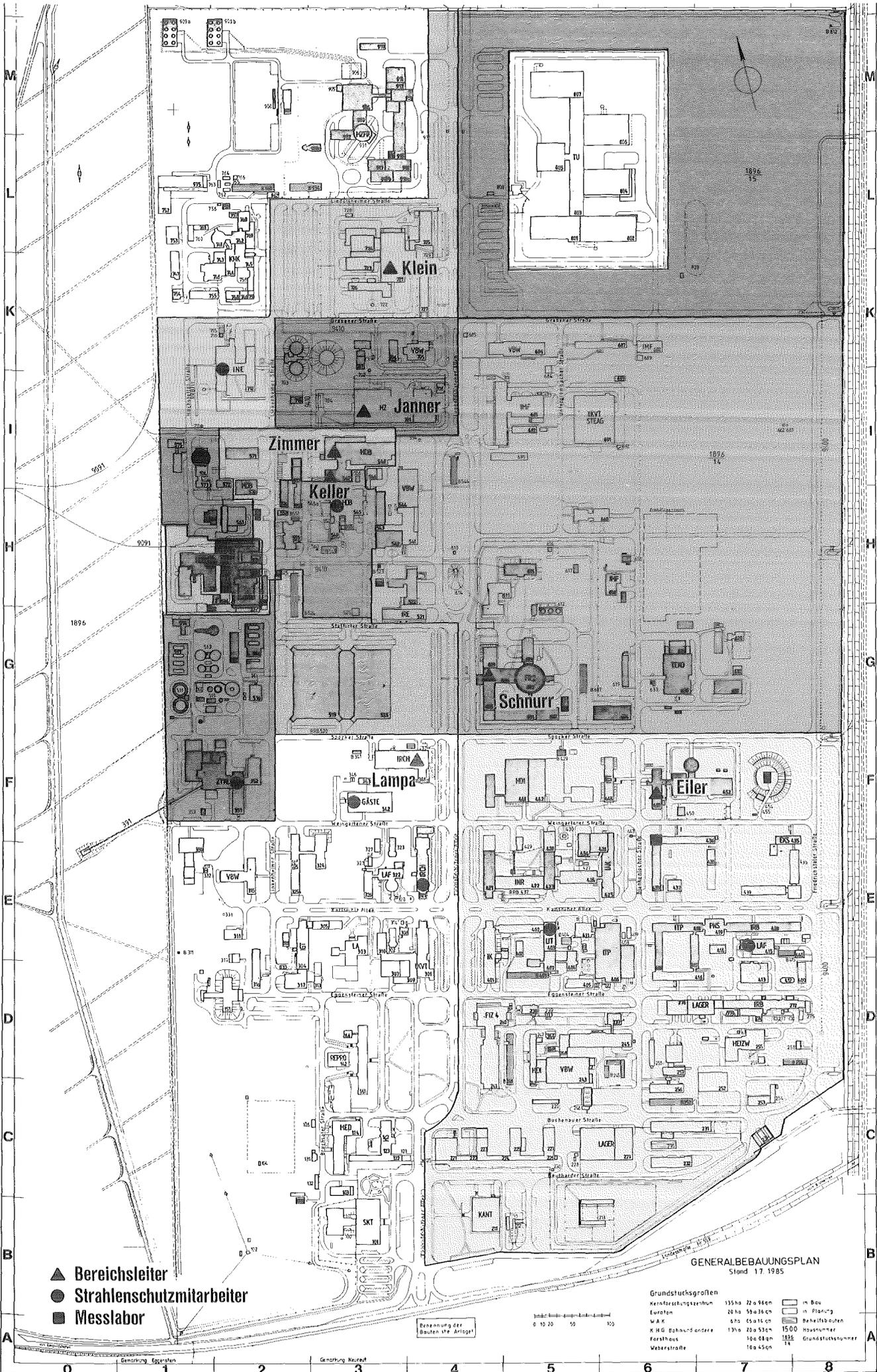
H. Dilger, D. Beier, H.-U. Berger, H. Schüler

Die Abteilung Strahlenschutzüberwachung ist vor allem für den Schutz der mit radioaktiven Stoffen umgehenden oder ionisierender Strahlung ausgesetzten Personen des Kernforschungszentrums Karlsruhe zuständig. Sie unterstützt dabei die Strahlenschutzbeauftragten in der Wahrnehmung ihrer Pflichten gemäß Strahlenschutz- bzw. Röntgenverordnung. Der Umfang der Zusammenarbeit ist in Abgrenzungsregelungen zwischen der Hauptabteilung Sicherheit und der entsprechenden Institution festgelegt. Bedingt durch diese Aufgabenstellung sind die Mitarbeiter der Strahlenschutzüberwachung dezentral in den einzelnen Institutionen des Kernforschungszentrums Karlsruhe tätig. Nach der räumlichen Lage der zu überwachenden Gebäude gliedert sich die Abteilung in die drei Gruppen Nord, West und Süd mit insgesamt sieben Bereichen. Der Gruppe Süd ist das zentrale Strahlenschutzmeßlabor angeschlossen (siehe KfK-Plan nach S. 76 und Tab. 4/1).

1 Gruppe	2 Bereich	3 Anzahl der Mitarbeiter der Strahlenschutzüberwachung	4 Anzahl der überwachten Personen (Dezember 1986)	5 Fläche des überwachten Bereichs in m <sup>2</sup>
Nord	1. IHCh, INE	8,5°	339	15 600
	2. KTB/HZ, IMF-III (Geb. 573/74), VBW/VB-Wä	7 + 1* 1 <sup>⊕</sup>	138	8 000
	3. KTB/FR 2, IT, IRE, IMF-I, -II, IMF-III (Geb. 681), VBW/E, VBW/BW, HS/R (Geb. 620), IKVT/STEAG	3+7 <sup>#</sup>	429	17 800
West	4. HDB-I (Geb. 545, 553, 555), INE (Geb. 547), IK-III/Zykl.	6,5+4 <sup>+</sup> 1 <sup>⊕</sup>	296	6 500
	5. HDB-II (Geb. 519, 526, 531-536, 548)	6,5	170	24 900
Süd	6. IRCh, LAF-I, IGT, Bau, SKT, HS (Geb. 123), Med, IKVT, P/AV, VBW/VB-Fw	7	495	6 100
	7. KTB/SNEAK, KTB/EA, INFP, HDI, INR, LIT, IRB, LAF-II, IK, ITP, PHDR, HS (Geb. 436), HS/S, VBW/VB-Bh, EKM/FK, VBW/HW	7 1 <sup>⊕</sup>	735	8 100
	Strahlenschutzmeßlabor	1,5	-	-
Abteilungsleitung/Sekretariat		1,5	-	-

Tab. 4/1: Personalstand, überwachte Personen und Bereichsgröße (\*Leihpersonal, <sup>#</sup>Wechselschichtdienst, <sup>+</sup>Schichtdienst, <sup>°</sup>zeitweise Schichtdienst, <sup>⊕</sup>Gruppenleiter)

Eine wichtige Aufgabe ist die Durchführung der Personendosimetrie. Jede strahlenexponierte Person erhält neben anderen Dosimetern eine Taschenionisationskammer. Die Anzahl der Personen, die mit selbstablesbaren Taschenionisationskammern ausgerüstet wurden (Stichmonat: Dezember 1986), einschließlich Fremdfirmenangehörigen, ist in Spalte 4 von Tab. 4/1 aufgeführt. Diese



- ▲ Bereichsleiter
- Strahlenschutzmitarbeiter
- Messlabor

Benennung der Bauten vgl. Anlage 1



**Grundstücksgroßen**

Kernforschungszentrum	135ha	22a 966m	in Bau
Kernforst	20ha	59a 364m	in Planung
WAK	67a	25a 110m	Beheftungsbohlen
K.H.G. Bahnanfänger	130a	20a 534m	Hausnummer
Forsthaus	10a	08qm	1500
Weberstraße	10a	45qm	1826
			74

Grundstücksnr.

**GENERALBEBAUUNGSPLAN**  
Stand 17. 1985

0 1 2 3 4 5 6 7 8

Anzahl hat sich gegenüber dem Vorjahr um ca. 90 erniedrigt, da der Umfang der Umbauarbeiten in der HDB zurückgegangen ist. Über die Meßergebnisse der Taschenionisationskammern wird in Kap. 4.1.1 und Kap. 4.2 berichtet. Darüber hinaus werden, je nach den vorkommenden Strahlenarten und -expositionen, weitere Dosimetertypen verwendet, wie Thermolumineszenzdosimeter oder Albedodosimeter. Über die Ergebnisse dieser Messungen wird in Kap. 6 berichtet.

Die Gebäude und Anlagen werden routinemäßig durch Kontaminations-, Dosisleistungs- und Raumluftmessungen bzw. Wischtests überwacht. Die Fläche der betrieblichen Überwachungs-, Kontroll- und Sperrbereiche ist in Spalte 5 von Tab. 4/1 angegeben. Beim betrieblichen Überwachungsbe- reich werden nur die Bereiche angegeben, in denen eine Aktivität oberhalb der Freigrenze ge- handhabt wird.

Die Kontaminationskontrolle von Personen am Ausgang von Bereichen, in denen genehmigungs- pflichtig mit radioaktiven Stoffen umgegangen wird, geschieht in der Regel in Eigenüber- wachung unter Zuhilfenahme von automatisch messenden Hand-Fuß-Kleidermonitoren.

Die Mitarbeiter überwachen auf Anforderung des zuständigen Strahlenschutzbeauftragten die Durchführung von Arbeiten mit erhöhtem Kontaminations- oder Strahlenrisiko. Autorisierte Mit- arbeiter legen bei der Ausstellung von Interventionserlaubnissen die Strahlenschutzauflagen fest. Insgesamt wurden 2200 Vorgänge bearbeitet.

Weiterhin führen Mitarbeiter die Strahlenschutzkontrolle bei der Ausfuhr von Material aus den Kontrollbereichen in den das ganze Gelände des KfK umfassenden betrieblichen Überwachungsbe- reich und aus dem KfK in das allgemeine Staatsgebiet durch. Bei dem Material handelt es sich um weiterverwendbare Gegenstände, wiederverwertbare Reststoffe oder Abfälle.

Größere Umbauarbeiten wurden bei KTB/SNEAK, IT und IHCh überwacht und die Materialflüsse kontrolliert. Über die Arbeiten bei KTB/SNEAK wird in Kap. 4.6 gesondert berichtet.

Die Abteilung unterhält ein zentrales Meßlabor, in dem die Aktivität von Raumluftfiltern ge- messen wird und nuklidspezifische Analysen durchgeführt werden. Von Mitarbeitern des Meßlabors werden alle Geräte der Abteilung verwaltet und die Neubestellung vorgenommen (s. Kap. 4.4).

Mitarbeiter der Abteilung haben als Strahlenschutzbeauftragte oder stellvertretende Strahlen- schutzbeauftragte die ordnungsgemäße Durchführung von Transporten radioaktiver Stoffe im Rah- men der Transportgenehmigungen der KfK GmbH zu überwachen. Hierüber wird in Kap. 4.5 berich- tet. Außerdem sind Mitarbeiter der Abteilung als Strahlenschutzbeauftragte oder stellvertre- tende Strahlenschutzbeauftragte für den Fahrdienst, den Reinigungsdienst und die Abteilung Sicherheit bestellt.

Die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter wurde auch im vergangenen Jahr fortgeführt. Neben der praktischen Ausbildung unter Anleitung der Bereichsleiter und der meßtechnischen Einwei- sung im Strahlenschutzmeßlabor wurden theoretische Kurse in der Schule für Kerntechnik be- sucht. Insgesamt wurden von Mitarbeitern der Abteilung 18 Kurse über Strahlenschutz, Mathema- tik und Datenverarbeitung wahrgenommen. Drei Mitarbeiter legten die Prüfung zur Strahlen- schutzfachkraft bei der Industrie- und Handelskammer Aachen mit Erfolg ab.

Für die Mitarbeiter im Schichtdienst und der Rufbereitschaft wurden monatlich Begehungen von Gebäuden mit Fort-, Raumluft- und sonstigen dauernd betriebenen Strahlenschutz-Meßgeräten durchgeführt.

#### 4.1 Arbeitsplatzüberwachung im KfK

H. Dilger

Die Art und Menge der gehandhabten radioaktiven Stoffe und auftretenden Strahlenarten sind in den einzelnen Institutionen unterschiedlich. Bei der folgenden Aufstellung werden die Einrichtungen der KfK in fünf Gruppen zusammengefaßt, die sich nicht mit den in Tab. 4/1 aufgeführten Bereichen decken. Über die Gruppe 1 "Beschleuniger und Reaktor" wird in Kap. 4.3 auch gesondert berichtet.

##### 4.1.1 Personendosimetrie mit Taschenionisationskammer

Die Tab. 4/2 zeigt, daß in den Einrichtungen des KfK im Jahre 1986 keine Personen eine Jahresdosis von mehr als 15 mSv erhalten haben, d. h. niemand der überwachten Personen wäre als strahlenexponierte Person der Kategorie A zu betrachten gewesen. Die Anzahl der Personen mit einer Jahresdosis zwischen 5 und 15 mSv im Jahr 1986 betrug 44. Insgesamt wären nur 1,7 % der überwachten Personen im KfK als strahlenexponierte Personen anzusehen.

##### 4.1.2 Oberflächenkontaminationen

In Tab. 4/2 sind weiterhin die gemessenen Oberflächenkontaminationen, aufgeschlüsselt nach  $\alpha$ -,  $\beta$ - und H-3-Kontaminationen, aufgeführt. Es werden Kontaminationen von Gebäudeoberflächen, Arbeitsplätzen, Arbeitsgegenständen und Material angegeben. Hierbei sind auch solche Kontaminationen aufgeführt, die durch bestimmungsgemäßen Betrieb auftraten. Die Kontaminationen werden dabei in Vielfachen der durch die Strahlenschutzverordnung oder durch die interne Kleider- und Zonenordnung vorgegebenen Grenz- bzw. Interventionswerte eingeteilt. Die interne Kleider- und Zonenordnung der KfK stellt eine Verschärfung der Strahlenschutzverordnung nach den örtlichen Gegebenheiten dar; z. B. werden in Kontrollbereichen mit umschlossenen Strahlern nur  $\alpha$ -Kontaminationen von 0,037 Bq/cm<sup>2</sup> und im gesamten betrieblichen Überwachungsbereich nur  $\beta$ -Kontaminationen von 0,37 Bq/cm<sup>2</sup> zugelassen.

$\alpha$ - und  $\beta$ -Kontaminationen traten vor allem in den "Institutionen mit höherer Aktivität" und bei der "Dekontamination und Abfallbehandlung" auf, während Tritiumkontaminationen überwiegend bei der Gruppe "Beschleuniger und Reaktor" entdeckt wurden. Die Anzahl der Oberflächenkontaminationen insgesamt nahm gegenüber dem Vorjahr bei der  $\alpha$ -Aktivität um 14 % ab, bei der  $\beta$ -Aktivität um 70 % zu.

##### 4.1.3 Raumlufaktivitäten

Weiter sind in Tab. 4/2 die Raumlufmessungen, wiederum aufgeschlüsselt nach  $\alpha$ -,  $\beta$ - und H-3-Aktivitäten, aufgeführt. Die Aktivitäten werden dabei in Vielfachen von abgeleiteten Interventionswerten eingeteilt. Diese abgeleiteten Interventionswerte werden aus der maximal zulässigen Jahresaktivitätszufuhr gemäß Strahlenschutzverordnung für strahlenexponierte Personen der Kategorie A und dem Jahresinhalationsvolumen von 2 500 m<sup>3</sup> berechnet. So wird in den Anlagen der KfK für  $\alpha$ -Aktivitätsgemische 0,063 Bq/m<sup>3</sup> (Leitnuklid Pu-239), für  $\beta$ -Aktivitätsgemische 43 Bq/m<sup>3</sup> (Leitnuklid Sr-90) und für H-3-Aktivitäten 1,8 · 10<sup>5</sup> Bq/m<sup>3</sup> festgelegt. Bei Raumlufaktivitätskonzentrationen oberhalb dieser Interventionswerte dürfen Arbeiten in den Anlagen der KfK nur mit Atemschutzgeräten durchgeführt werden. Die Raumlufaktivitäten werden nur oberhalb des 0,015-fachen der abgeleiteten Werte erfaßt, weil unterhalb dieser Werte das Erfordernis einer

	1	2	3	4	5	6
Gruppe	Beschleuniger, Reaktor  (KTB/SNEAK, IK, INR, INFP)	Institutionen mit höherer Aktivität (IHCh, IRCh, KTB/HZ, KTB/FR2, INE)	Institutionen mit niedriger Aktivität (IMF, IT, LAF-II, LIT)	Dekontamination und Abfallbehandlung  (HDB)	sonstige Institutionen	KfK
Personendosis in mSv	Anzahl der Personen					
$0 < H \leq 5$	283	596	274	383	1022	2558
$5 < H \leq 15$	14	10	0	20	0	44
$15 < H \leq 50$	0	0	0	0	0	0
Oberflächenkontamination in Vielfachen der KfK-internen Grenzwerte	Anzahl der Fälle					
$10^0 < K_\alpha \leq 10^1$	3	78	4	89	5	179
$10^1 < K_\alpha \leq 10^2$	6	21	7	25	3	62
$10^2 < K_\alpha \leq 10^3$	0	3	3	4	0	10
$10^3 < K_\alpha$	0	0	1	0	0	1
$10^0 < K_\beta \leq 10^1$	12	83	9	58	28	190
$10^1 < K_\beta \leq 10^2$	2	26	13	20	1	62
$10^2 < K_\beta \leq 10^3$	0	4	4	1	1	10
$10^3 < K_\beta$	0	7	0	0	0	7
$10^0 < K_{H3} \leq 10^1$	0	0	0	0	0	0
$10^1 < K_{H3} \leq 10^2$	5	0	0	0	0	5
$10^2 < K_{H3} \leq 10^3$	7	0	0	0	0	7
$10^3 < K_{H3}$	4	1	0	0	0	5
Raumluftaktivitäten in Vielfachen von abgeleiteten Grenzwerten	Anzahl der Fälle					
$0,015 < R_\alpha \leq 1$	0	7	0	65	0	72
$1 < R_\alpha \leq 200$	0	0	0	63	0	63
$200 < R_\alpha$	0	3	0	9	0	12
$0,015 < R_\beta \leq 1$	0	0	0	0	0	0
$1 < R_\beta \leq 200$	0	0	0	4	0	4
$200 < R_\beta$	0	0	1	0	0	1
$0,015 < R_{H3} \leq 1$	0	0	0	0	0	0
$1 < R_{H3} \leq 200$	0	0	0	0	0	0
$200 < R_{H3}$	0	0	0	0	0	0
Personenkontaminationen	3	4	1	2	0	10

Tab. 4/2: Strahlenschutzmeßergebnisse in den verschiedenen Organisationseinheiten des Kernforschungszentrums Karlsruhe

regelmäßigen Inkorporationskontrolle gemäß der "Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle" auch ohne Berücksichtigung der Aufenthaltsdauer für Personen der Kategorie B entfällt. Eine weitere Einteilungsschranke stellt das 20-fache der Interventionswerte dar, weil oberhalb dieser Werte mit Atemschutz-Isoliergeräten gearbeitet werden muß. Bei Tritiumaktivitäten wird schon oberhalb des Interventionswertes das Tragen eines fremdbelüfteten, gasdichten Schutzanzugs vorgeschrieben.

Die überwiegende Zahl der  $\alpha$ - und  $\beta$ -Aktivitäten oberhalb der angegebenen Grenzen traten bei der "Dekontamination und Abfallbehandlung" auf, dabei kam es vor allem zu  $\alpha$ -Kontaminationen. In den übrigen Institutionen wurden nur wenige Raumluftkontaminationen gemessen; insgesamt nahm die Anzahl gegenüber dem Vorjahr um ca. 1/3 ab.

#### 4.1.4 Personenkontaminationen

Hier werden alle Kontaminationen erfaßt, die nicht vor Ort durch einfaches Waschen beseitigt werden können, und bei denen die Dekontamination in den speziellen Einrichtungen der Medizinischen Abteilung erfolgt. Die Anzahl der Personenkontaminationen ging gegenüber dem letzten Jahr um ca. 60 % zurück.

#### 4.2 Summendosen

H. Dilger

Aus den Meßwerten der Taschenionisationskammern wurden die Summendosen und die mittleren Individualdosen für das Berichtsjahr in den verschiedenen Institutionen zusammengestellt. Diese Werte enthalten auch die Dosen der Fremdfirmenangehörigen. In Tab. 4/3 sind alle Institutionen mit Summendosen größer 10 mSv in der Reihenfolge fallender Summendosen aufgeführt. Insgesamt beträgt die Summendosis im Kernforschungszentrum 1014 mSv. Die höchsten Werte haben wieder, wie im Vorjahr, die HDB und IK-III/Zykl.. Dabei nahmen aber die Summendosen in der HDB um 16 %, bei IK-III/Zykl. um 26 % ab. Über die Strahlenschutzmaßnahmen im IK-III/Zykl. wird in Kap. 4.3 gesondert berichtet. Dagegen nahm die Summendosis im IHCh gegenüber 1985 um 59 % zu. Dies ist auf größere Umbauarbeiten im Milli-Bereich und an den Lüftungsanlagen zurückzuführen.

Die Auswertung ergab, daß von allen überwachten Personen nur 783 Personen eine Dosis ab der monatlichen Nachweisgrenze von 0,2 mSv erhalten haben. Dies wirkt sich aus, wenn die Individualdosis nicht über alle überwachten Personen, sondern nur über die exponierten Personen gemittelt wird. Die höchsten mittleren Individualdosen erhielten danach die exponierten Personen von IK-III/RTM. Diese Arbeitsgruppe führt Bestrahlungen für Verschleißuntersuchungen im Maschinenbau durch.

Institution	Summendosen mSv im Jahr 1986	überwachte Personen Stand Dezember 1986	exponierte Personen im Jahr 1986	mittlere Individualdosis mSv/über- wachte Person	mittlere Individualdosis mSv/expo- nierte Person
HDB	437	387	252	1,1	1,7
IK-III/Zykl.	171	79	71	2,2	2,4
IHCh	148	231	109	0,6	1,4
KTB/HZ	59	105	42	0,6	1,4
IRCh	36	78	27	0,5	1,3
HS/Ü	35	63	35	0,6	1,0
INE	28	101	25	0,3	1,1
IK-III/RTM	19	17	5	1,1	3,8
KTB/EA+BI	18	83	33	0,2	0,5
VBW	16	229	32	0,1	0,5
IT	13	82	29	0,2	0,5
alle übrigen	34	1147	78	0,0	0,4
KfK gesamt	1014	2602	738	0,4	1,4

Tab. 4/3: Mit Taschenionisationskammern gemessene Summen- und mittlere Individualdosen in den Institutionen der KfK , einschließlich der Dosen von Fremdfirmenangehörigen.

#### 4.3 Arbeitsplatzüberwachung im Zyklotron-Laboratorium

H. Schüler

Das Institut für Kernphysik (IK-III) betreibt im Zyklotron-Laboratorium Beschleunigeranlagen. Zu den Hauptaufgaben zählen der Betrieb und die Weiterentwicklung dieser Anlagen. Des weiteren gehören dem Institut Arbeitsgruppen an, welche diese Anlagen für die Medizin und Technik einsetzen.

Außer für die Grundlagenforschung werden die Anlagen auch intensiv für die Aktivierung von Maschinenteilen zwecks Verschleißmessungen sowie für die Herstellung von Radionukliden, die nur in Beschleunigeranlagen hergestellt werden können, eingesetzt. So sind es zum Beispiel zur Zeit die Nuklide Iod-123 sowie Rubidium-81, die regelmäßig erzeugt und an Kliniken bzw. an Pharmaunternehmen ausgeliefert werden.

Das Karlsruher Isochronzyklotron (KIZ) zur Beschleunigung von leichten Ionen (26 MeV/Nukleon) sowie das Kompaktzyklotron (KAZ) zur Beschleunigung von Protonen im Energiebereich 15-42 MeV wurden 1986 gleichzeitig routinemäßig betrieben. So werden zum Beispiel in einer Dual-Beam-Anordnung durch simultane Bestrahlung mit Alphateilchen vom KIZ und Protonen vom KAZ, bei gleichzeitiger Implantation von Helium, Strahlenschäden in der Wand von Fusionsreaktoren annähernd simuliert.

Wegen der hohen Strahlungsintensität während des Betriebes sowie für eine gewisse Zeit nach dem Abschalten sind besondere bauliche Strahlenschutzmaßnahmen erforderlich. Deshalb sind die Anlagen in entsprechend abgeschirmten Räumen untergebracht. Diese sind so gesichert, daß während des Betriebes durch ein unbefugtes Öffnen der Sicherheitstür ein Alarm ausgelöst und gleichzeitig die Anlage abgeschaltet wird. Außerdem sind im Inneren der abgeschirmten Räume im Türbereich Sonden installiert, um die momentane Dosisleistung im Innenraum auch außerhalb der Abschirmung auf der zugehörigen Anzeigeelektronik sichtbar zu machen.

Für den Strahlenschutz ist eine gut funktionierende Meßtechnik unabdingbar. Deshalb werden alle strahlenschutzrelevanten Meßgeräte täglich bei Arbeitsbeginn auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft. Des weiteren werden sie in vorgegebenen Abständen auf ein Ansprechen der Alarmgebung beim Über- oder Unterschreiten von Grenzwerten überprüft und regelmäßig die Zählwirksamkeit festgestellt. Diese Maßnahmen sind einschließlich der zugehörigen Dokumentation behördlich vorgeschrieben, aber leider sehr zeitaufwendig und durch Rationalisierung nicht zu strafen. Aufgrund der angespannten Personalsituation geht diese Zeit dem präventiven Strahlenschutz verloren, obwohl Vorausplanung und arbeitsbegleitende Präsenz eines Strahlenschutztechnikers mit entsprechenden Vorsorgemessungen zur Dosisminimierung notwendig wäre.

Die Gruppe Isotopenproduktion erzeugt an vier Tagen der Woche I-123 und an drei Tagen Rubidium-81. Die Nuklide werden portioniert und verpackt. Innen- und Transportbehälter müssen vor der Auslieferung vom Strahlenschutz überprüft werden.

Eine wichtige Maßnahme ist, gerade bei einer Anlage wie dem Zyklotron, die Personendosisüberwachung. Sie findet mit drei verschiedenen Dosimetern statt. Die amtliche Überwachung wird mit einem Filmdosimeter (FID) durchgeführt, die interne Überwachung mit Hilfe eines Thermolumineszenzdosimeters (TLD) sowie mit einer Taschenionisationskammer (TIK). Hierbei liefert die TIK die am schnellsten verfügbare Information. Sie kann schon während der Tätigkeit vom Träger direkt abgelesen, jedoch nur vom Strahlenschutz zurückgestellt werden. Sie wird unabhängig davon spätestens am Morgen des Folgetages vom Strahlenschutz abgelesen und mit Hilfe eines Rechners über den Zeitraum des laufenden Monats akkumuliert und überwacht. Am Monatsende wird die Diskette mit den Dosiswerten dem Rechner der Abteilungsleitung von HS/Ü überspielt und von diesem der zentralen Dosisregistratur bei HS/TSB übergeben. Bestehen Zweifel an der Echtheit der mit der TIK ermittelten Dosis, so kann das TLD sofort der Abteilung HS/D überstellt und dort gemessen werden, um eine Parallelinformation zu erhalten. Am Ende jedes Monats werden die amtlichen Filmdosimeter gewechselt und der Landesanstalt für Umweltschutz zur Auswertung übergeben. Diese Ergebnisse erreichen uns erst ca. sechs Wochen später. Die Meßwerte der TLD liegen nach ca. 3 Wochen vor.

Die im Rechner gespeicherten Personendosiswerte können von autorisierten Personen des Strahlenschutzes jederzeit in der vom Strahlenschutzbeauftragten gewünschten Form abgerufen und diesem regelmäßig zur Verfügung gestellt werden. Sie sollen als Hilfe bei der Personaleinsatzplanung dienen.

Analysiert man die TIK-Personendosiswerte des Zyklotron-Laboratoriums, so stellt man fest, daß es sechs Gruppen sind, die nennenswert zur Gesamtdosis beitragen. (siehe Tab. 4/4)

Die Abb. 4/1 zeigt den Verlauf der Monatsdosen für das gesamte Personal des Zyklotron-Laboratoriums sowie für die Isotopenproduktionsgruppe und die Operatorgruppe. Auf die Darstellung der anderen Gruppen wurde verzichtet, weil ihr Dosisbeitrag zu gering ist und sie auch sonst keine interessanten Details erkennen lassen.

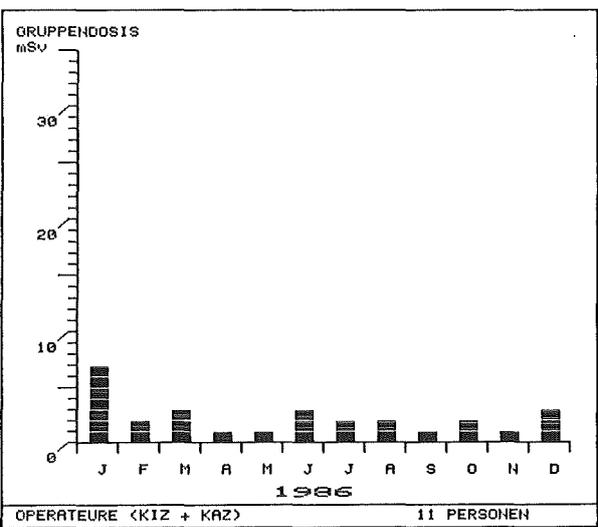
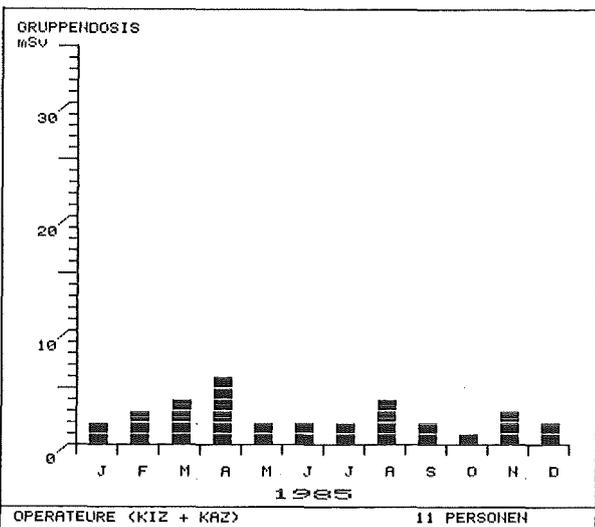
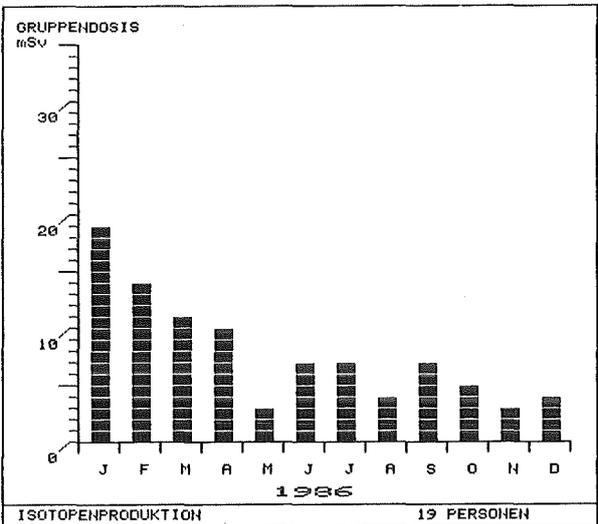
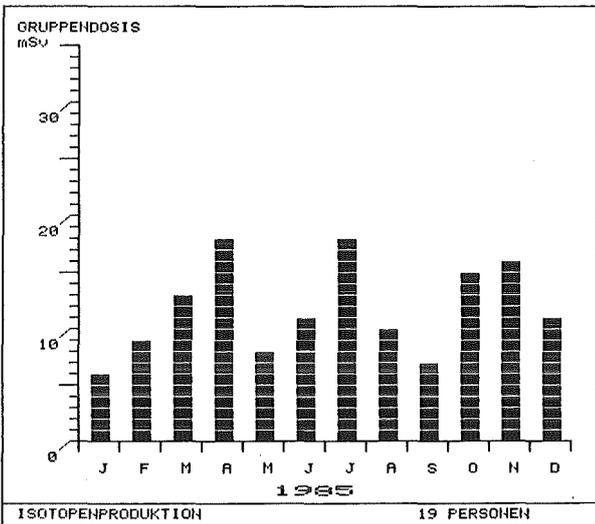
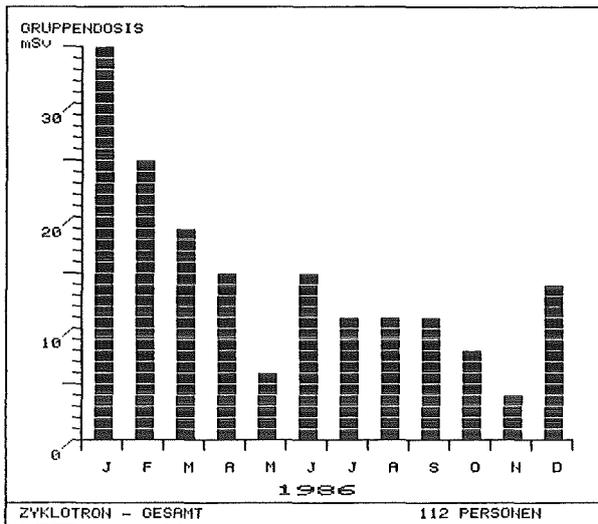
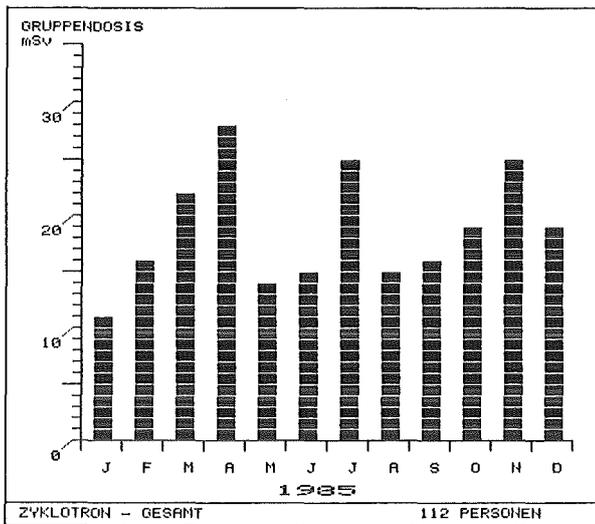


Abb. 4/1: Darstellung der Monatsdosiswerte des gesamten Zyklotronlaboratoriums, der Isotopenproduktionsgruppe sowie der Gruppe der Operateure von KIZ und KAZ für die Jahre 1985 und 1986

Gruppe	Personen		Dosiswerte		Dosiswerte	
	Anzahl	in %	1985 in mSv	1985 in %	1986 in mSv	1986 in %
Isotopenproduktion	19	17	140	58	94	51
Operateure (KIZ/KAZ)	11	10	34	14	25	14
Betriebsgruppe	6	5	22	9	11	6
Werkstätten	11	10	13	5	11	6
Strahlführungssystem	18	16	12	5	18	10
Radioisotopen im Maschinenbau	17	15	18	8	16	9
Sonstige	30	27	3	1	8	4
Summe	112	100	242	100	183	100

Tab. 4/4: TIK-Gruppendosen im Zyklotron für die Jahre 1985 und 1986

Aus Tab. 4/4 und Abb. 4/1 ist ersichtlich, daß die Monatsdosiswerte der Isotopenproduktionsgruppe mit über 50 % der Gesamtdosis weitaus am höchsten lagen. Ihr Verlauf war im Jahr 1985 sehr heterogen und im Mittel höher als 1986. Von August 1984 bis zum Februar 1986 liefen noch zwei Iod-123-Produktionsverfahren nebeneinander her. Zum einen wurde als Ausgangsmaterial Tellur-124 und zum anderen Xenon-124 verwendet. Danach wurde nur noch mit Xenon-124 gearbeitet. In der anfänglichen Form erwies sich diese Technik jedoch als relativ dosisintensiv. Durch mehrere Verbesserungen wurde die Verfahrenstechnik optimiert und wird seit Beginn des Jahres 1986 in der jetzigen Form mit deutlich geringerer Personendosisbeaufschlagung betrieben. Im Laufe des Jahres 1987 soll eine verbesserte Abschirmbox in Betrieb genommen werden, um die Dosis bei der Isotopenproduktion noch weiter zu reduzieren.

Die übrigen Gruppen müssen ihrer Aufgabenstellung gemäß häufig in die Anlagen und sind daher in nicht vorhersehbaren Zeitabständen unterschiedlichen Strahlungsintensitäten ausgesetzt. Notwendige Reparaturarbeiten waren mit erhöhten Gruppendosen verbunden. Obwohl diese soweit als möglich nach der langen Abschaltphase zum Jahreswechsel durchgeführt wurden, um den Abfall der Strahlungsintensität während der Stillstandszeit zu nutzen, ist die Gruppendosis im Monat Januar 1986 gegenüber allen anderen deutlich erhöht. Zur Gruppe Radionuklidtechnik im Maschinenbau ist zu vermerken, daß diese Gruppe zwar aus 17 Mitarbeitern besteht, ihre Gruppendosis jedoch fast ausschließlich von zwei Personen akkumuliert wurde. Hier würde die Bildung einer mittleren Gruppendosis die Tatsache verschleiern, daß diese zwei Mitarbeiter zu den Personen mit relativ hohen Jahres-Personendosen zählen. Bei dieser Gruppe wurde von einer Abbildung des Monatsdosisverlaufs abgesehen.

Zu den vordringlichen Aufgaben des Strahlenschutzes wird 1987 eine gründliche, dosisbezogene Arbeitsplatzanalyse zählen, um die Gesamt-Personendosis im Bereich des Zyklotron-Laboratoriums, allgemein und für die höher exponierten Personen im besonderen, soweit wie möglich zu reduzieren.

Im gleichen Zuge werden auch arbeitsplatzbezogene Spektralanalysen durchgeführt, um die energetische Zusammensetzung der dosiserzeugenden Strahlung zu ermitteln. Diese Spektren werden dann der LFU überstellt, damit sie bei der Filmauswertung Berücksichtigung finden können.

4.4 Strahlenschutzmeßlabor

D. Beier

Im Berichtszeitraum wurden im Strahlenschutzmeßlabor 35922 Raumluftfilter mittels Alpha-Beta-Pseudokoinzidenzanlagen auf künstliche  $\alpha$ - und  $\beta$ -Aktivität ausgemessen. Die Anzahl der Messungen war beträchtlich höher, da die Filter zum Teil bis zu dreimal gemessen werden mußten, um die Grenzen der Aktivitätskonzentration in Luft von  $6,3 \cdot 10^{-2}$  Bq/m<sup>3</sup> für  $\alpha$ -Strahler zu erreichen. Zusätzlich wurde jeweils pro Aerosolsammelstelle und Woche ein Filter nach einer Abklingzeit von etwa drei Tagen einer 80-min-Messung unterzogen, um die Nachweisgrenze auf  $9,5 \cdot 10^{-4}$  Bq/m<sup>3</sup> für  $\alpha$ -Strahler und auf  $6,5 \cdot 10^{-1}$  Bq/m<sup>3</sup> für  $\beta$ -Strahler zu drücken.

Die gefundenen Luftstaubaktivitäten sind in Tab. 4/5 nach Raumluftkonzentrationen aufgegliedert. Von den 213 Filtern mit  $\alpha$ -Aktivität, entsprechend einer Raumluftkonzentration zwischen  $6,3 \cdot 10^{-2}$  und  $9,5 \cdot 10^{-4}$  Bq/m<sup>3</sup>, wurden 121 erst durch die 80-min-Nachmessung gefunden. Der Tabelle für diesen Berichtszeitraum wurde eine 5. Spalte angefügt, in der die Anzahl der Filter aufgeführt sind, deren Aktivität eindeutig auf den Reaktorunfall von Tschernobyl zurückzuführen ist.

Aktivitäten	Aktivitätsgrenzen in Bq/m <sup>3</sup>	Anzahl der Filter	Anteil an der Gesamtzahl in Prozent	Anzahl der Filter bedingt durch Tschernobyl
$\alpha$ -Aktivität	$A > 6,3 \cdot 10^{-2}$	98	0,28	-
	$6,3 \cdot 10^{-2} \geq A \geq 9,5 \cdot 10^{-4}$	213	0,59	-
	$A < 9,5 \cdot 10^{-4}$	36611	99,13	-
$\beta$ -Aktivität	$A > 43$	3	0,01	1
	$43 \geq A \geq 6,5 \cdot 10^{-1}$	56	0,15	337
	$A < 6,5 \cdot 10^{-1}$	35863	99,84	-

Tab. 4/5: Häufigkeitsverteilung der Aerosolaktivitätskonzentration in der Raumlucht

Die Werte  $6,3 \cdot 10^{-2}$  Bq/m<sup>3</sup> für  $\alpha$ -Strahler bzw. 43 Bq/m<sup>3</sup> für  $\beta$ -Strahler werden von den Grenzwerten der Jahresaktivitätszufuhr über Luft für Personen der Kategorie A abgeleitet. (vgl. Kap. 4.2).

Die Werte  $9,5 \cdot 10^{-4}$  Bq/m<sup>3</sup> für  $\alpha$ -Strahler bzw.  $6,5 \cdot 10^{-1}$  Bq/m<sup>3</sup> für  $\beta$ -Strahler sind das 0,015-fache der abgeleiteten Werte. Bei Einhaltung dieser Grenzwerte entfällt das Erfordernis einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung auch für Personen der Kategorie B.

Mittels  $\gamma$ -Spektroskopie wurden im Strahlenschutzmeßlabor 835 Proben untersucht. Davon entfielen auf Kohlefilter 546, auf Luftfilter 14, auf Wischtests 14 und auf kontaminierte bzw. aktivierte Gegenstände 261 Proben. Die identifizierten Nuklide sind in Tab. 4/6 aufgeführt.

Nuklid	Reaktor und Be- schleuniger	Einrich- tungen mit hoher Aktivität	Einrich- tungen mit niedriger Aktivität	HDB	sonstige Institu- tionen	Summe
I-123	76	-	-	-	-	76
I-131	-	11	53	3	-	67
Co-60	39	7	1	12	4	63
Cs-137/Ba-137m	-	14	6	27	12	59
Cs-134	-	6	6	13	5	30
Ru-106/Rh-106	-	5	1	11	5	22
Ru-103	-	5	3	7	5	20
Zn-65	8	-	-	5	-	13
Am-241	-	2	-	8	1	11
Sb-125/Te-125m	-	2	-	5	3	10
I-125	-	-	-	9	-	9
Mn-54	6	-	-	-	-	6
Ce-144/Pr-144	-	3	-	-	2	5
Uran-+Th-Folgepr.	-	1	1	2	-	4
Co-57	-	1	-	-	1	2
I-132	-	2	-	-	-	2
Eu-152	1	1	-	-	-	2
Eu-154	1	1	-	-	-	2
Ra-226 + Folgepr.	1	-	-	-	1	2
Be-7	-	-	-	1	-	1
Nb-95	-	1	-	-	-	1
Mo-99/Tc-99m	-	1	-	-	-	1
Ag-110m	-	-	-	-	1	1
Sn-113	-	-	-	-	1	1
Te-129	-	1	-	-	-	1
I-129	-	-	-	1	-	1
Te-132	-	1	-	-	-	1
La-140	-	1	-	-	-	1
Ce-141	-	-	-	1	-	1
Ta-182	-	-	-	-	1	1
Pb-210	-	1	-	-	-	1
Pa-231	-	-	-	1	-	1
Pa-233	-	-	-	1	-	1
Np-235	-	-	-	1	-	1
Np-237	-	-	-	1	-	1
-----						
Am-241u./o.,Pu-238	4	1	-	24	-	29
Pu-239	4	1	-	23	-	28
Po-210	-	1	-	18	-	19
U <sub>nat</sub>	2	-	-	-	-	2
Ra-226 + Folgepr.	-	-	1	-	-	1
U-234 u./o., Np-237	1	-	-	-	-	1

Tab. 4/6: Durch  $\gamma$ -Spektroskopie (oben) und  $\alpha$ -Spektroskopie (unten) identifizierte Radionuklide, sortiert nach fallender Häufigkeit

Mittels  $\alpha$ -Spektroskopie wurden 35 Proben untersucht. Davon entfielen 33 Proben auf Wischtests und 2 Proben auf Luftfilter. Die identifizierten Nuklide sind ebenfalls in Tab. 4/6 aufgeführt.

Vom Strahlenschutzmeßlabor wird außer den bereits aufgeführten Messungen die gesamte Neu- und Ersatzbeschaffung für HS/Ü durchgeführt. Das waren im Berichtszeitraum 181 Beschaffungsanforderungen. Darunter waren 21 Kontaminationsmeßgeräte, 5 HFK-Monitoren, 12 Dosisleistungsmeßgeräte, 8 Luftfilter- bzw. Wischtest-Meßplätze mit Probenwechslern, 5 fahrbare Luftstaub-Sammler, 4 Rechner mit Floppy und Drucker, 1 Flüssigkeitsszintillationszähler, 5 Tritiummonitoren, 1 Reinstgermanium-Detektor, 1 Bleiabschirmung für NaI-Detektor und Präparate für wiederkehrende Prüfungen der Meßgeräte. Besondere Aufmerksamkeit erfordert die Verfolgung von Reparaturaufträgen. Auch die Beschaffung des gesamten Verbrauchsmaterials der Abteilung HS/Ü wie Aerosolfilter, Wischtestpapier, Schreiberpapier, Strahlenschutzaufkleber usw. wird vom Meßlabor getätigt.

Ferner werden vom Strahlenschutzmeßlabor alle größeren Anlagen wie Wischtestprobenwechsler, Tritiummonitoren usw. in Betrieb genommen. Auch mußte wieder viel Zeit für die Pflege der Wischtest- und Luftfilter-Auswerteprogramme aufgewendet werden.

#### 4.5 Transporte radioaktiver Stoffe

H.-U. Berger

Der Verfasser hat neben seinen sonstigen Aufgaben auch die Verpflichtung, als Strahlenschutzbeauftragter des Fahrdienstes die ordnungsgemäße Durchführung der Transporte radioaktiver Stoffe auf öffentlichen Straßen zu überwachen, sofern dabei Beförderungsgenehmigungen der KfK-GmbH in Anspruch genommen werden oder der Fahrdienst die Transporte durchführt. Das gleiche gilt für die vom Fahrdienst auf Werksstraßen des Kernforschungszentrums durchgeführten Transporte radioaktiver Stoffe. Schließlich muß der Verfasser bei den geländeinternen R2-Transporten im Sinne der internen Transportordnung der KfK GmbH (ITO) im allgemeinen die flankierenden Maßnahmen für die Transportabwicklung festlegen.

Bei der Durchführung dieser Aufgaben wurden im Rahmen der vorgeschriebenen Buchführung über die durchgeführten Transporte 109 Beförderungspapiere nach Rn 2002 GGVS und 118 Begleitpapiere nach Absatz 7.1 der ITO durchgesehen. Insbesondere bei den Begleitpapieren der internen Transporte waren wegen unvollständiger oder unklarer Angaben häufig Rückfragen erforderlich. In 16 Fällen mußten für R2-Transporte flankierende Maßnahmen festgelegt werden. Für das Fahrpersonal der betroffenen Organisationseinheiten (P/AV/FD, LAF-II, HDB) wurden 2 Strahlenschutzbelehrungen durchgeführt. Die 109 (1985: 50) auf öffentlichen Straßen durchgeführten Transporte radioaktiver Stoffe sind in Tab. 4/7 nach Aktivitätsinventar und Hauptziel- bzw. Ursprungsgruppen aufgegliedert. Wie im Vorjahr dominierten die Transporte von LAF-II, die zum Zwecke der Prüfung von Iodfilteranlagen in Kernkraftwerken erfolgen (Beförderung von I-131 als Methyljodid in Form von Prüfgas, beladenen Meßadsorbern und kontaminierten Geräten). Für die KfK GmbH neu war die zweimalige Beförderung radioaktiver Abwässer in Tankwagen. Die 120 (1985: 41) von P/AV/FD auf Werksstraßen durchgeführten Transporte sind in Tab. 4/8 nach Aktivitätsinventar und Transportart im Sinne der ITO aufgegliedert.

Zur Information der KfK-Mitarbeiter, die externe Transporte radioaktiver Stoffe vorbereiten sollen, und als Arbeitsmittel für diesen Personenkreis wurden 11 Broschüren erstellt, die Anfang 1987 als technischer Anhang zu einem KfK-Bericht erscheinen werden. Ferner wurde der Verfasser zu vier Vortragsreihen an der Landespolizeischule gebeten, die der Einführung der Gefahrgutkontrolltrupps in die Probleme beim Transport radioaktiver Stoffe dienen.

Darüber hinaus waren des öfteren Mitarbeiter des Kernforschungszentrums bei der Vorbereitung von Transporten radioaktiver Stoffe zu beraten, die teils auf öffentlichen Verkehrswegen, teils nur auf Werksstraßen befördert werden sollten. Diese Beratungen sind oft sehr zeitaufwendig, da die geplanten Beförderungen teilweise auch auf dem Luft- oder Seeweg erfolgen oder nach West-Berlin gehen sollten. Daher mußten neben der GGVS auch die teilweise abweichenden Vorschriften der IATA und der GefahrgutV See berücksichtigt werden. Der Umstand, daß die Absender im engeren Sinn manchmal weder Aktivität noch Nuklidzusammensetzung von Geräten kennen, die bei früherer Benutzung im Neutronenfluß des FR-2 aktiviert worden waren, erhöhte den Zeitbedarf ebenfalls. Die auftretenden Schwierigkeiten werden an folgendem Einzelfall beispielhaft skizziert:

Der Verfasser erfährt Anfang Juni, daß P/AV/FD für eine auf dem KfK-Gelände ansässige Fremdinstitution den Transport einer sehr kleinen Kernbrennstoffmenge, vermischt mit sonstigen radioaktiven Stoffen, zum Flughafen Frankfurt durchführen soll. End-Adressat ist eine in Berlin (West) ansässige Wissenschaftlich-Technische Bundesbehörde. Aus genehmigungsrechtlichen Gründen sind für den Beförderungsvorgang je eine atomrechtliche Beförderungsgenehmigung der PTB und des Berliner Senators für Wirtschaft und Verkehr erforderlich (Viermächte-Status $\alpha$ ), die inhaltlich aufeinander abgestimmt sein müssen. Daher soll die Beförderung von hier nach Frankfurt Rhein-Main-Flughafen nicht nach der der KfK ausgestellten Genehmigung erfolgen, sondern nach der Beförderungsgenehmigung der Berliner Bundesbehörde, die u. a. auch für unser Isotopenfahrzeug (!) ausgestellt worden ist. Der Verfasser bittet um Zusendung der fraglichen Urkunden, um Umfang und zu beachtende Auflagen zu erfahren und um Zusendung der Beförderungspapiere zwecks Vorprüfung. Die absendende Fremdinstitution muß in einem längeren Gespräch davon überzeugt werden, daß die beglaubigten Kopien unserem Fahrer für die Zeit des Straßentransports übergeben und von diesem der Fluggesellschaft weitergegeben werden müssen. Die Vorprüfung der Beförderungspapiere für Straße und Luftfracht ergibt einige Mängel, die in einer Vormittagssitzung diskutiert und schließlich behoben werden. Die Durchsicht der Genehmigungsurkunden ergibt, daß zu beiden Genehmigungen eine Reihe von Nachträgen erteilt wurden, von denen einige nicht einmal in unbeglaubigter Kopie vorliegen. Ferner ist nach Aktenlage die Beförderung der beigemischten sonstigen radioaktiven Stoffe zwar im Bundesgebiet aber nicht in Berlin (West) zulässig; die Berliner Beförderungsgenehmigung ist anscheinend abgelaufen. Telefonische Rücksprache mit dem Sachbearbeiter des Berliner Empfängers ergibt, daß auch zur Berliner Genehmigung Nachträge sowohl zur Gültigkeitsverlängerung als auch zur Mitbeförderung sonstiger radioaktiver Stoffe existieren, von denen sofort beglaubigte Kopien zugeschickt werden. Ferner deuten sich Schwierigkeiten an, da die Genehmigungen Versand in einem bestimmten Typ-A-Versandstück vorschreiben, die PANAM aber die Beförderung radioaktiver Stoffe in Passagierflugzeugen nur dann vornehmen darf, wenn es sich um "Kleine Mengen" handelt. Die unterschiedlichen Bezettelungs- und Beschriftungsvorschriften für A-Versandstücke einerseits und "Kleine Mengen" andererseits lassen Verwirrung bei der Einlieferung am Flughafen befürchten. Die Fremdinstitution befolgt den Rat, telefonisch zu klären, ob der Transport durch PANAM oder BA abgewickelt wird und ob PANAM gegebenenfalls ein A-Versandstück mit (inventarmäßig zutreffender) Deklaration als "Kleine Mengen" annehmen würde oder nicht. Daher besteht der Verfasser schließlich auf Ankreuzen von "Cargo Aircraft only" in "Shippers Declaration". Einige Zeit später erfährt er, daß die Beförderung "in nächster Zeit" durchgeführt werden soll, aber über Stuttgart. Begründung: PANAM übernimmt den Transport nicht, BA fliegt im südwestdeutschen Raum nur von Stuttgart nach Berlin. Aber: Laut Genehmigung darf der Flugtransport im vorliegenden Fall nur zwischen Frankfurt und Berlin erfolgen. Verfasser verweigert Straßentransport nach Stuttgart, Fremdinstitution tritt in Gespräche mit PANAM ein, und man findet schließlich einen Weg, der PANAM die Übernahme der Fracht ermöglicht. Dann erfolgt der Transport endlich am 01. Oktober 1986. Geschätzter Arbeitsaufwand beim Verfasser ca. 5 Arbeitstage.

Transporte										
Aktivitätsinventar A					durch P/AV/FD			durch LAF-II (KFK-KKW)	sonstige Transporte	
A < 0,37 GBq	0,37 GBq	37 GBq			vom und zum Hbf Karlsruhe	vom und zum TRIGA Heidelberg	von und zu sonstigen Adressen			
91 (39)	18 (11)	0(0)	0 (0)		1 (0)	0 (0)	3 (3)	101 (47)	4 (0)	

Tab. 4/7: Aktivitätsinventar und Wege der unter KfK-Verantwortung auf öffentlichen Wegen durchgeführten Transporte radioaktiver Stoffe. Die Vorjahreszahlen sind in ( ) angegeben.

Aktivitätsinventar A					als R1-Transport	als R2-Transport
A < 0,37 GBq	0,37 GBq ≤ A < 37 GBq	37 GBq ≤ A < 3,7 TBq	A ≥ 3,7 TBq	ohne Aktivitätsangabe		
66 (20)	30 (11)	21 (0)	3 (0)	0 (10)	120 (41)	0 (0)

Tab. 4/8: Aktivitätsinventar und Transportmodus der durch P/AV/FD innerhalb des eingezäunten KfK-Geländes durchgeführten Transporte radioaktiver Stoffe

#### 4.6 Strahlenschutzarbeiten bei der Demontage der SNEAK

D. Beier

Die SNEAK - Schnelle Null Energie Anordnung Karlsruhe - wurde am 31.10.1985 mit dem letzten kritischen Experiment außer Betrieb genommen.

In den anschließenden Wochen wurde der Kernbrennstoff abtransportiert. Ferner wurde mit der Abgabe von nicht mehr gebrauchten beweglichen Materialien wie z. B. Lagerbehälter, Paletten, Strukturmaterial, Regale u.s.w. begonnen.

Ab dem 14.04.1986 war die mit der Demontage beauftragte Firma Noell im Gebäude. Bis zum Vorliegen der Stilllegungsgenehmigung wurden Vorbereitungsarbeiten durchgeführt und Lagerregale im Montage- und Lagergebäude abgebaut. Am 03.06.1986 begann dann die Demontage des Reaktors. Die gesamten Arbeiten waren mit der Aufhebung der Kontrollbereiche am 28.11.1986 beendet.

Während dieser Zeit war intensive Strahlenschutzbetreuung gefordert. Alle Materialien, die aus den Kontrollbereichen ausgeführt wurden, vom großen Stahlträger bis zur kleinsten Schraube mußten vom Strahlenschutz ausgemessen werden. Die Überwachung des Personals auf externe Dosis und Inkorporation gestaltete sich dagegen recht einfach, da die maximale Ortsdosisleistung an allen Stellen im Gebäude nach Abtransport des Kernmaterials  $< 1 \mu\text{Sv/h}$  war. Auch die Luftstaubmessungen, die täglich an mindestens zwei Stellen in der Nähe der Demontearbeiten durchgeführt wurden, brachten außer in der Zeit des Reaktorunfalls von Tschernobyl keine Meßwerte  $> 4 \cdot 10^{-2} \text{ Bq/m}^3$  für  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahler.

Alle aus den Kontrollbereichen ausgeführten Materialien und Geräte mußten auf Einhaltung der  $\alpha$ - und  $\beta$ -Kontaminationsgrenzwerte überprüft werden. Teile, die im Reaktor Neutronenstrahlung ausgesetzt waren - auch nur möglicherweise -, mußten durch  $\gamma$ -Spektroskopie auf Aktivierung kontrolliert werden. Die Aktivität des nicht meßbaren Fe-55 im Stahl wurde dabei unter Berücksichtigung der Stahlzusammensetzung durch Aktivierungsrechnung auf das 10-fache der Co-60 Aktivität festgelegt.

Die Materialien wurden in zwei Gruppen an die HDB abgegeben:

- Materialien zur schadlosen Wiederverwertung

mit $\alpha$ -Kontaminationen	$\leq 0,037 \text{ Bq/cm}^2$
$\beta$ -Kontaminationen	$\leq 0,37 \text{ Bq/cm}^2$
und Gesamtaktivität	$\leq 10^{-4}$ -fache Freigrenze/g bzw. $\leq 74 \text{ Bq/g}$ für Kohlenstoff-Stahl

- Materialien zur Weiterbearbeitung durch HDB

Nach der Demontage und dem Ausräumen der Gebäude begann jeweils das Ausmessen von Böden, Wänden und Decken sowie der verbleibenden Einrichtungen auf Kontamination. Die Kontaminationsgrenzwerte waren auch hier  $0,037 \text{ Bq/cm}^2$  für  $\alpha$ -Strahler und  $0,37 \text{ Bq/cm}^2$  für  $\beta$ -Strahler. Diese Messungen wurden mit einem Raster von ca.  $80 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$  über alle Flächen durchgeführt. An den wenigen Stellen, an denen Kontamination gefunden wurde, wurde vor der Dekontamination in einem Umkreis von ca.  $1 \text{ m}$  Radius flächendeckend kontrolliert. Die maximale  $\alpha$ -Kontamination, die gefunden wurde, betrug  $0,08 \text{ Bq/cm}^2$ ;  $\beta$ -Kontaminationen wurden keine entdeckt.

Zum Abschluß einige Zahlen:

Anzahl der Kontaminationsmessungen direkt	$\approx 100\ 000$
Anzahl der Kontaminationsmessungen indirekt (Wischteste)	$\approx 50\ 000$
Anzahl der Proben zur $\gamma$ -Spektroskopie	110
Fläche der ausgemessenen Fußböden, Wände und Decken	$\approx 10\ 000 \text{ m}^2$
Reststoffe zur schadlosen Wiederverwertung	125 t
Kontaminierte und/oder aktivierte Reststoffe zur weiteren Bearbeitung an HDB	175 t

#### 4.7 Wäschemonitor mit digitaler Aktivitätsmessung

H.- U. Berger

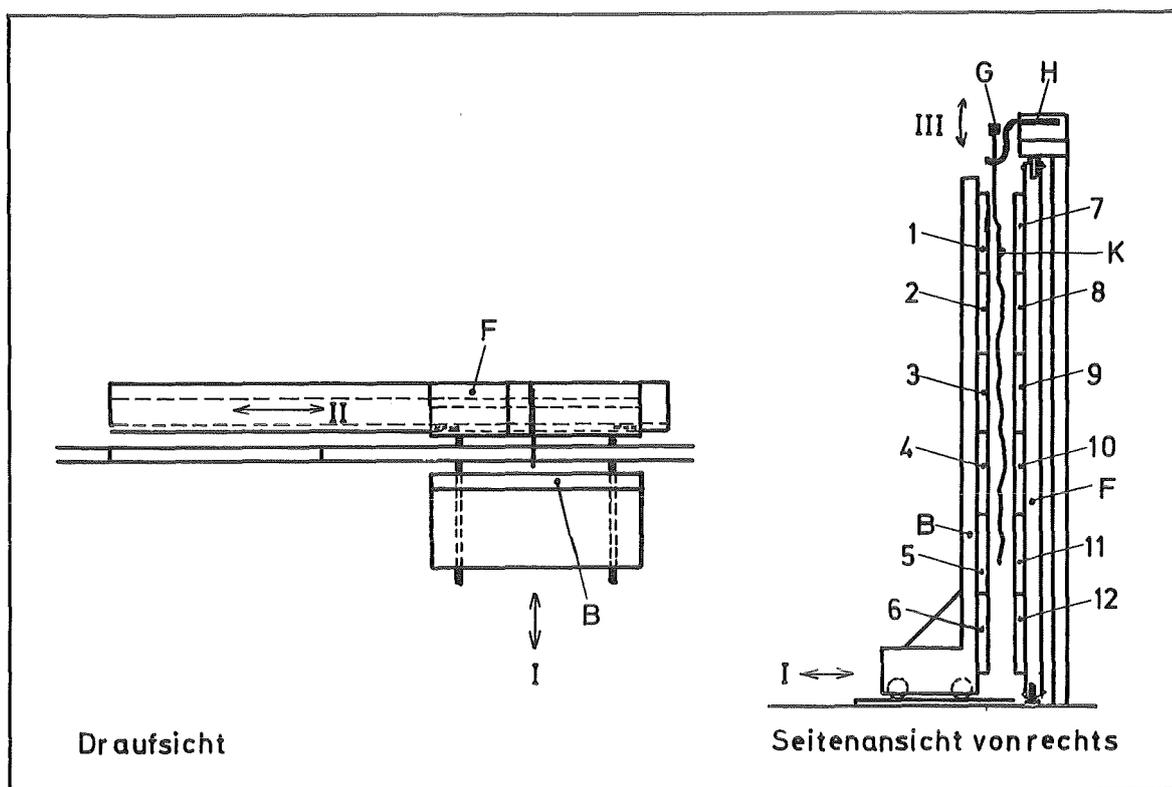
In der Betriebswäscherei der KfK GmbH wird die angelieferte Schmutzwäsche der Kategorie II (graue oder weiße Wäsche mit Kragenkennzeichnung und Unterwäsche, die unter gelber Schutzkleidung getragen wurde) einer Eingangs-Kontaminationsmessung unterzogen. Die dabei als kontaminiert erkannten Kleidungsstücke werden im "aktiven" Teil der Wäscherei einer Dekontaminationswäsche unterzogen, bevor sie in den "inaktiven" Teil der Wäscherei zur Beseitigung konventioneller Verschmutzung gelangen. Das gleiche gilt für die gesamte angelieferte Schmutzwäsche der Kategorie I (gelbe Kleidung), die ohne Eingangsmessung der Dekontaminationswäsche unterzogen wird. Vor Abgabe der dekontaminierten Wäsche an den "inaktiven" Wäscherei-Teil wird jedes Kleidungsstück einer Ausgangs-Kontaminationsmessung unterzogen. Dabei wird auflagengemäß eine Sortierung in "nicht kontaminiert", "schwach kontaminiert" und "stark kontaminiert" vorgenommen. Die nicht kontaminierte Wäsche wird an den inaktiven Wäschereiteil abgegeben, die schwach kontaminierte Wäsche erneut einer Dekontaminationswäsche unterzogen, sofern sie nicht dem Anlieferer zur Weiterverwendung als Zweitkombi in hoch kontaminierten Kontrollbereichen zurückgegeben oder (nach wiederholten Dekontaminationswaschgängen) zum radioaktiven Abfall gegeben wird. Die nach einem Dekontaminationswaschgang noch stark kontaminierte Kleidung wird in jedem Fall zum radioaktiven Abfall gegeben. Jährlich müssen an ca. 79 000 Kleidungsstücken Eingangs- oder Ausgangsmessungen vorgenommen werden.

Zur automatischen Durchführung dieser Meß- und Sortierarbeiten wurde 1985 ein Wäschemonitor mit digitaler Aktivitätsmessung geliefert, der Anfang 1986 übergeben wurde. Das Gerät besteht aus einer Förder- und Sortier-Strecke, einer zentralen Steuer-, Meß- und Auswertungs elektronik und einer Detektorstation.

Zur zentralen Steuer-, Meß- und Auswertungs elektronik gehören u. a. ein Digitalrechner, ein Terminal, ein Matrixdrucker, ein 16-Kanal-Digitalzähler und die Hochspannungsversorgung für die Großflächenzählrohre. Der Rechner steuert die Bewegungsabläufe der Förder- und Sortierstrecke und der Detektorstation, die Hochspannungsumschaltung und den Digitalzähler, berechnet aus den ermittelten Digitalzählerständen Oberflächenkontaminationen und nimmt die Einstufung in die drei Kategorien "nicht kontaminiert", "schwach kontaminiert" und "stark kontaminiert" vor. Spezielle Routinen für die "Kontrolle" von Nulleffekt und Zählausbeute sowie für die "Neubestimmung" von Nulleffekt und Zählausbeute sind in dem herstellerseitig gelieferten Programm enthalten und können, teils über Tastendruck am Elektronikschrank, teils über das Terminal, angestoßen werden. Die "Kontrolle" beinhaltet bei relativ kurzer Meßzeit eine Überprüfung, ob die Zählerstände um mehr als  $+ 3\sigma$  (Nulleffekt) bzw. mehr als  $\pm 4\sigma$  (Zählausbeute) von den im Rechner gespeicherten Erwartungswerten abweichen. Bei der "Neubestimmung" werden die Erwartungswerte in einer Langzeitmessung gemessen und automatisch übernommen; Meßzeit und Kalibrierpräparateaktivität sind im Dialog einzugeben.

Die Sortierschwellen sind im Dialog einzugeben. Das Programm ist so aufgebaut, daß die Wahrscheinlichkeit für die irri ge Einstufung nicht kontaminierter Wäsche als "schwach kontaminiert" (Fehler 1. Art) und die Wahrscheinlichkeiten für die irri ge Einordnung stark kontaminierter Wäsche als "schwach kontaminiert" bzw. schwach kontaminierter Wäsche als "nicht kontaminiert" (Fehler 2. Art) jeweils höchstens 2,5 % betragen. Zur Zeit sind die Sortierschwellen folgendermaßen festgelegt:

$$\begin{array}{lll} \text{"nicht kontaminiert":} & A_{F\alpha} \leq 0,05 \text{ Bq/cm}^2 & A_{F\beta} \leq 0,5 \text{ Bq/cm}^2 \\ \text{"schwach kontaminiert":} & A_{F\alpha} \leq 0,5 \text{ Bq/cm}^2 & A_F \leq 5 \text{ Bq/cm}^2 \end{array}$$



B: "bewegliche" Wand, F: "ortsfeste" Wand, G: Gliederkette mit Kleiderbügel, H: Haken, K: Kittel, 1-12: Zählrohre  
 Die "bewegliche" Wand wird bei jedem Meßzyklus mehrmals automatisch in Pfeilrichtung I verfahren, die "ortsfeste" Wand kann nur von Hand zu Servicezwecken in Pfeilrichtung II verschoben werden. Der Haken H schwenkt bei jedem Meßzyklus in Pfeilrichtung III (Heben und Senken des Meßguts)

Abb. 4/2: Schematische Ansichten des Wäschemonitors

Die Detektorstation ist mit 12 Großflächen-Durchflußzählrohren der Abmessungen  $30 \times 80 \times 2 \text{ cm}^3$  bestückt, siehe Abb. 4/2. Die effektive Fensterfläche beträgt  $1800 \text{ cm}^2$ , das Flächengewicht der Fensterfolien beträgt  $0.9 \text{ mg/cm}^2$ . Sechs Zählrohre sind übereinander in einer senkrechten "ortsfesten" Wand montiert, die nur bei abgeschalteter Anlage zu Service-Zwecken in Richtung der horizontalen Zählrohr-Längsachse verfahrbar ist, und sechs Zählrohre sind in einer "beweglichen" Wand montiert. Die Strahlungseintrittsfenster der Detektoren beider Wände sind einander zugewandt. Ein rechnergesteuert verstellbarer Haken hebt bzw. senkt das Meßgut um  $5 \text{ cm}$ , um auch die Kontrolle der Oberflächenpartien sicherzustellen, die in Grundstellung (unten) den strahlungsunempfindlichen Zählrohrrahmen gegenüberstehen. Die "bewegliche" Wand wird rechnergesteuert in Richtung der Fensternormalen verfahren, um das Ein- und Ausfahren sowie das Heben und Senken des Meßgutes ohne Beschädigung der Fensterfolien zu ermöglichen. Beim normalen Meßzyklus wird zunächst die "bewegliche" Wand zurückgefahren, das Meßgut von der Förderstrecke in den Spalt zwischen "fester" und "beweglicher" Wand eingefahren und dann die "bewegliche" Wand vorgefahren, bis der Luftspalt zwischen den Detektorfenstern nur noch  $60 \text{ mm}$  beträgt. (Das entspricht bei locker auf dem Bügel hängenden Kitteln etc. etwa einem losen Kontakt der Wäsche mit den Zählrohrfenstern). Jetzt verharret die "bewegliche" Wand bis zum Abschluß der 1.  $\beta$ -Messung. Danach fährt die "bewegliche" Wand zurück, der Haken hebt das Kleidungsstück an und die "bewegliche" Wand fährt wieder vor, um bis zum Ende der 2.  $\beta$ - und der 1.  $\alpha$ -Messung zu verharren. Anschließend fährt die "bewegliche" Wand erneut zurück, der Haken senkt das Meßgut wieder auf die Grundposition ab und die "bewegliche" Wand fährt wieder vor. Dort verharret sie bis zum Ende der 2.  $\alpha$ -Messung. Abschließend fährt die "bewegliche" Wand wieder zurück, um das Ausfahren des gemessenen und das Einfahren des nächsten Kleidungsstücks zu ermöglichen.

Die Förder- und Sortierstrecke übernimmt an der Beladestation von einem Kleiderständer automatisch die auf Kleiderbügeln aufgehängte Wäsche auf Greifer, die auf einer Gliederkette montiert sind. Über jedem Greifer ist ein "aktiver" Informationsträger montiert, der in der Detektorstation rechnergesteuert mit der "Abwurfadresse" des ausgemessenen Kleidungsstücks codiert wird und dann das Kleidungsstück je nach Codierung auf den Ständer für nichtkontaminierte, schwach kontaminierte oder stark kontaminierte Kleidung gleiten läßt.

Die Meßzeiten für  $\alpha$ - und  $\beta$ -Messung werden vom Rechner aus den gespeicherten Daten für Null-effekt und Zählhausbeute so berechnet, daß die garantierte statistische Sicherheit gegen Fehler 1. und 2. Art erreicht wird. Zur Erhöhung des Wäschedurchsatzes wird der Meßzyklus bei stark kontaminierten Kleidungsstücken in dem Augenblick vorzeitig abgebrochen, in dem die Einstufung in "stark kontaminiert" feststeht.

Für die Durchführung von Funktionsprüfungen und für die Neubestimmung der Zählhausbeuten wurden 24 Prüfpräparate und zwei Präparate-Träger beschafft. Die Präparate-Träger bestehen aus je einem Nesselsack von 170 cm x 46 cm, der mit einer  $\approx 5$  cm starken Schaumstoffplatte ausgefüllt und an einem Kleiderbügel befestigt ist. Auf der Vorderseite sind 6 etwa gleich starke  $\alpha$ -Präparate von 100 cm<sup>2</sup> Fläche so befestigt, daß sie in "Grundposition" des Hebehakens der Detektorstation jeweils etwa mittig vor den 6 Großflächenzählern sitzen. Auf der Rückseite sind in gleicher Weise 6  $\beta$ -Präparate von etwa 10-facher Aktivität befestigt. Die Präparate-Aktivität des einen Präparateträgers entspricht etwa 0,055 Bq/cm<sup>2</sup> für  $\alpha$  bzw. 0,55 Bq/cm<sup>2</sup> für  $\beta$ , die des anderen Präparate-Trägers etwa 0,52 Bq/cm<sup>2</sup> für  $\alpha$  bzw. 5,5 Bq/cm<sup>2</sup> für  $\beta$ , so daß bei Funktionsprüfungen die einwandfreie Sortierfunktion direkt überprüft werden kann. Zur Neubestimmung der Zählhausbeuten wird der "stärkere" Präparate-Träger benutzt. Bei der Wahl der Schaumstoff-Füllung, die die Einzelpräparate möglichst dicht an die Detektoren drücken soll, mußte ein Kompromiß zwischen dem Wunsch nach möglichst definierter Geometrie Präparat-Detektor und der Notwendigkeit eines störungsfreien Einfahrens des Präparateträgers in die Detektorstation und größtmöglicher Schonung der Detektorfenster gefunden werden.

Die Aktivitätsbestimmung mit Digitalzählern brachte, insbesondere für die  $\alpha$ -Aktivitätsbestimmung, gegenüber der Aktivitätsbestimmung mit analogen Ratemetern eine deutliche Absenkung der Nachweisgrenze, da nunmehr nur noch die stochastische Verteilung der Gesamtpulszahlen die Schwankungen bestimmt, aber nicht mehr die Verteilung der Zeitintervalle zwischen zwei aufeinanderfolgenden Impulsen.

## 5 Radioökologie

L.A. König, H. Schüttelkopf

Die Aufgaben der Abteilung Radioökologie (HS/R) sind die Messung der radioaktiven Emissionen des Kernforschungszentrums Karlsruhe, die Überwachung der Immissionen und die Untersuchung ökologischer Auswirkungen von Emissionen.

In Kap. 5.1 werden die Ergebnisse der Routineüberwachung (Abluft 5.1.1, Abwasser 5.1.2, Umgebung 5.1.3, spektrometrische Untersuchungen 5.1.4 und radiochemische Untersuchungen 5.1.5) dargestellt. Die Gruppe Abluftüberwachung plant die Aktivitätsableitung in die Atmosphäre aus dem gesamten Kernforschungszentrum. Außerdem wird die Dosisexposition der Umgebung mit den Planungswerten des Abluftplans und mit den tatsächlichen Emissionen berechnet. In der HS/R werden alle im Zuständigkeitsbereich der KfK GmbH anfallenden Proben der Abluftüberwachung gemessen. Die Gruppe Abwasserüberwachung mißt die Aktivitätskonzentrationen der Abwässer aus den Abwassersammelstationen zur Entscheidung, ob diese dekontaminiert werden müssen oder direkt der Kläranlage zugeführt werden dürfen sowie die Aktivitätskonzentrationen der aus der Kläranlage zum Vorfluter abzuleitenden Abwässer. Die Aufgabe der Gruppe Umgebungsüberwachung ist die Messung der  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung und der Aktivitätskonzentrationen in der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe. Die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung wird mit Hilfe von Zählrohrstationen und Festkörperdosimetern auf dem Betriebsgelände und in der Umgebung gemessen. Zur Bestimmung des Radioaktivitätsgehaltes in Luft, Wasser, Boden, Schlamm, Fisch und landwirtschaftlichen Produkten werden regelmäßig Proben aus der Umgebung des Kernforschungszentrums gemessen. Alle Dosimeterauswertungen, deren Ergebnisse im Kap. 5 berichtet werden, lagen in der Hand der HS-Abteilung Dosimetrie (Leitung: Dipl.-Phys. E. Piesch). Die Gruppen Abluft-, Abwasser- und Umgebungsüberwachung werden von den Gruppen Radiochemie und Spektrometrie unterstützt, wenn zur Messung der Emissionen oder Immissionen radiochemische oder spektrometrische Bestimmungen benötigt werden. Die Berichterstattung über die Ergebnisse der Überwachungsprogramme erfolgt vierteljährlich durch die zuständigen Gruppen. Zum Jahresbeginn 1987 wurden die Aufgabengebiete Emissions-/Immissionsüberwachung, Radionuklidbestimmung sowie ökologische Untersuchungen organisatorisch zusammengefaßt.

Die Qualität der Messungen wird durch Teilnahme an Ringversuchen gewährleistet. 1986 nahm die HS/R an folgenden Ringversuchen teil (in Klammern: koordinierende Institution):

- $\gamma$ -Spektrometrie von Filterproben (Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes, Neuherberg).
- $\gamma$ -Spektrometrie, Tritium-,  $\alpha$ - und  $\beta$ -Aktivitätsmessung, Sr-90- und Sr-89-Analysen von Abwasserproben aus Kernkraftwerken (Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin).
- $\gamma$ -Spektrometrie,  $\alpha$ - und  $\beta$ -Aktivitätsmessung, Sr-90- und Sr-89-Analysen von Sedimentproben (Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz).

Im Auftrag werden die oben beschriebenen Messungen auch für andere kerntechnische Anlagen durchgeführt. Die Verrechnung erfolgt dabei nach einer aufwandsbezogenen Gebührentabelle. 1986 wurden Arbeiten für KWO, GKN, Alkem, WAK, Interatom, Kondima und andere durchgeführt. Die umfangreichen Arbeiten, die bei HS/R im Zusammenhang mit dem Reaktorunfall von Tschernobyl anfielen, sind in Kap. 8.1 wiedergegeben.

Neben Routineaufgaben laufen verschiedene Forschungsaufgaben, die sich insbesondere mit dem Verhalten von Tritium in der Umwelt und mit dem Boden-Pflanzen-Transfer befassen. Diese Programme sind teilweise in innerhalb des Kernforschungszentrums laufende Projekte eingebunden oder waren vom Bundesministerium des Innern gefördert. Fortgesetzt und abgeschlossen wurden die Untersuchungen zur Tritiumkonzentration im Gewebewasser und in organisch gebundener Form (OBT) in Nahrungsmitteln aus den beiden Hauptwindrichtungen aus Friedrichstal und aus Eggenstein-Leopoldshafen. Ergänzend zu diesen Messungen wurde in vielen Fällen der Tritiumgehalt von Boden und Luftfeuchte gemessen. Im Rheinniederungskanal wurde die Untersuchung von HTO und OBT in landwirtschaftlichen Produkten fortgesetzt. Die Kinetik der Aufnahme von Tritium in Fischen und Konzentrationen in Fischen und Wasserpflanzen wurden gemessen. Die im Rahmen der Fusionsforschung aufgenommenen Untersuchungen zum Verhalten von gasförmigem Wasserstoff umfaßten die Erstellung einer Methodik, die die getrennte Messung von HT und HTO in Luft ermöglicht. Eine Methode für die Trennung der einzelnen chemischen Komponenten von Pflanzenzellen wurde ausgearbeitet. Eine begehbare Klimakammer, in der Begasungsexperimente mit tritiiertem Wasserstoffgas erfolgen werden, wurde in Betrieb genommen und erste Experimente wurden durchgeführt. Im Rahmen eines internationalen Programms wurden erste Messungen zum Verhalten von HT in der Umgebung ausgeführt.

Die wissenschaftlichen Experimente im Gewächshaus wurden fortgesetzt. Neben Untersuchungen mit Tc-99 und Aktiniden wurden weitere Transfermessungen mit Schwermetallen durchgeführt. Die Transfermessungen von Np, Pu, Am und Cm in Gras, Mais, Weizen und Kartoffeln wurden mit der 6. und 7. Vegetationsperiode abgeschlossen. Die Untersuchung des Transfers von Tc in Gras auf zwei unterschiedlichen Böden sollte zum besseren Verständnis des Einflusses des Alterns der eingebrachten Technetiumverbindungen beitragen. Der Einfluß des Humusgehaltes im Boden auf die Aufnahme von Tc-99 durch Pflanzen wurde gemessen. Die Leistungsfähigkeit des in der HS/R vorhandenen konventionellen Labors wurde gesteigert. Erste Experimente zum Transfer von Sb-125 und zur Mobilität von Schwermetallen in Industriestaub wurden durchgeführt. Die Untersuchungen zur Aufnahme von Schwermetallen in Regenwürmer und die Verteilung dieser Schwermetalle aus einer kontaminierten Schicht in die umliegende nichtkontaminierte Erde wurden mit verbesserten experimentellen Ansätzen fortgesetzt. Ein fünfjähriges Forschungsprogramm zum Boden-Pflanzen-Transfer von I-129 wurde begonnen.

## 5.1 Berichte über Routineüberwachung

### 5.1.1 Abluftüberwachung

#### 5.1.1.1 Grundsätze und Berechnungsgrundlagen

A. Wicke

Die Ableitung radioaktiver Stoffe aus dem KfK in die Atmosphäre wird seit 1969 gemäß Grundsätzen, die mit der Aufsichtsbehörde vereinbart sind, in einem für das jeweilige Jahr gültigen "Abluftplan" vorgeplant. Dieser Abluftplan enthält für die einzelnen Emittenten des KfK die höchstzulässigen Jahres- und Kurzzeitabgaben, aufgeschlüsselt nach Radionukliden bzw. Radionuklidgruppen. Die Ableitungen der von der KfK GmbH betriebenen Anlagen werden in Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern der Abteilung "Strahlenschutzüberwachung" (Leitung: Dr. H. Dilger) der HS ermittelt. Die Fortluftüberwachung der Anlagen des KfK, die nicht von der KfK GmbH betrieben werden, erfolgt durch die zuständigen Betreiber.

## Nuklidgruppen

Im Abluftplan 1986/1987 des KfK sind die radioaktiven Emissionen in Nuklidgruppen und Einzelnuclide eingeteilt und in folgende Nuklidgruppen unterteilt ( $T_{1/2}$  = Halbwertszeit):

$\alpha$ -kurz ( $\Lambda_{AK}$ )	$\alpha$ -aktive Aerosole mit $T_{1/2}$ kleiner als 8 Tage
$\alpha$ -lang ( $\Lambda_{AL}$ )	$\alpha$ -aktive Aerosole mit $T_{1/2}$ gleich oder größer als 8 Tage
$\beta$ -kurz ( $\Lambda_{BK}$ )	$\beta$ -aktive Aerosole mit $T_{1/2}$ kleiner als 8 Tage
$\beta$ -lang ( $\Lambda_{BL}$ )	$\beta$ -aktive Aerosole mit $T_{1/2}$ gleich oder größer als 8 Tage
E	radioaktive Edelgase
$G_K$	kurzlebige aktivierte Gase
H <sup>3</sup> O (HT)	Tritium wasserförmig (gasförmig)
I	radioaktives Iod (I-131-Äquivalent)
C-14	radioaktiver Kohlenstoff

Die Einführung von Nuklidgruppen bedeutete keinen Verzicht auf die Bilanzierung der Ableitungen von einzelnen Radionukliden. Sie ist jedoch bei verschiedenen Emittenten des KfK notwendig, da bei diesen einerseits die Nuklidzusammensetzungen in den Ableitungen nicht vorhergesagt werden können, andererseits aber doch direkt meßbare höchstzulässige Ableitungen vorgegeben werden müssen. In allen Fällen, in denen sich aufgrund der kontinuierlichen Aerosolüberwachung oder der Bilanzierungsmessungen Hinweise darauf ergaben, daß die zulässigen Kurzzeitabgaben (Wochen- bzw. Tagesgrenzwerte) erreicht worden sein könnten, wurden nuklidspezifische Untersuchungen vorgenommen. Im folgenden wird auf die Nuklidzusammensetzung der einzelnen Gruppen eingegangen.

### $\alpha$ -kurz ( $\Lambda_{BK}$ )

Die Emission von  $\alpha$ -aktiven Aerosolen mit einer Halbwertszeit unter 8 Tagen ist laut Abluftplan 1986/1987 nicht vorgesehen.

### $\alpha$ -lang ( $\Lambda_{BL}$ )

Es wurde bei allen Emittenten - mit Ausnahme der HDB, der WAK, des IKVT und des IMF I - angenommen, daß die Aktivität der Gruppe  $\Lambda_{AL}$  als Pu-239 abgegeben wird. Das ist eine konservative Annahme, obwohl theoretisch durch Am-241, Pa-231 oder Cf-249 noch geringfügig höhere Äquivalentdosen verursacht werden könnten. Davon abweichend wurde für die Emittenten IKVT und IMF I die Emission von U-238 und für die WAK und die HDB die Emission eines  $\alpha$ -aktiven Nuklidgemisches angenommen, welches sich zu gleichen Teilen aus Pu-238, Pu-239 und Am-241 zusammensetzt. Bei der Berücksichtigung der Vorbelastung durch die Kernkraftwerke Philippsburg (KKP 1 und KKP 2) wird bei KKP 1 ein Siedewasserreaktor-Aerosolgemisch und bei KKP 2 ein Druckwasser-Aerosolgemisch entsprechend der Empfehlung des BMI angenommen.

### $\beta$ -kurz ( $\Lambda_{BK}$ )

Für die meisten Institute und Reaktoren wird in Gruppe  $\Lambda_{BK}$  der kurzlebige Anteil eines  $\beta$ -aktiven Spaltproduktgemisches mit einer Kühlzeit von 0 h angenommen; die Halbwertszeit der in diesem Gemisch berücksichtigten Nuclide ist jeweils kleiner als 8 Tage. Von dieser Regelung ausgenommen sind

die folgenden Institute, für die das entsprechende Leitnuklid jeweils angegeben wird: LIT, Geb. 403/404, F-18 und IK III, Geb. 351 (KAZ), Rb-81.

### $\beta$ -lang ( $A_{BL}$ )

Die in Gruppe  $A_{BL}$  zu berücksichtigenden Nuklide sind meist Spaltprodukte, deren Alter die Zusammensetzung bestimmt. Für die Reaktoren und Institute - mit Ausnahme des IK III/Zyklotron (hier ist Be-7 bzw. Tl-204 Leitnuklid) und das IGT (Leitnuklid: Pu-241) - wurde der längerlebige Anteil eines Spaltproduktgemisches mit 0 h Kühlzeit (ohne Berücksichtigung des Sr-Anteils) angenommen. Für die WAK und die HDB wurde die Zusammensetzung eines längerlebigen  $\beta$ -aktiven Spaltproduktgemisches aus KfK 1945 übernommen (Brennstoff-Eigenschaften: auf 3 % U-235 angereichertes Uran, leichtwassermoderierter Reaktor, Abbrand 34 000 MWd/t Schwermetall, Kühlzeit drei Jahre). Zusätzlich wurden für alle Emittenten - mit Ausnahme des IK III/Zyklotron und des IGT - 10 % der Emissionsrate der Gruppe  $A_{BL}$  als Sr-90 berücksichtigt. Weiterhin werden bei WAK, der Verbrennungsanlage, IHCH und TU 10 % der Emissionsrate als Pu-241 berücksichtigt. Bei der Berechnung der Vorbelastung durch die Kernkraftwerke Philippsburg wird bei KKP 1 ein Siedewasserreaktor-Aerosolgemisch und bei KKP 2 ein Druckwasserreaktor-Aerosolgemisch entsprechend der Empfehlung des BMI angenommen.

### E und $G_k$

Leitnuklid beider Nuklidgruppen ist für die WAK Kr-85 (hier wird zusätzlich 0,1 % der Emissionsrate der Gruppe E als Ar-41 angenommen), für das IK III/Zyklotron (KAZ) N-13 und für KNK sowie alle anderen Institute Ar-41. Die Gruppe  $G_k$  wird mit E zusammengefaßt, da sie im Vergleich zu Gruppe E nur geringfügige Emissionswerte enthält. Für die Kernkraftwerke Philippsburg (KKP 1 und KKP 2) wird für die Nuklidgruppe E Xe-133 als Leitnuklid angenommen.

### Radioaktives Iod

Das Alter der Spaltprodukte bestimmt das radiologisch überwiegende Isotop. In der WAK werden z. B. so alte Brennelemente aufgearbeitet, daß dort das Nuklid I-129 dominiert. Da nicht die Aktivität, sondern die Dosis in der Umgebung begrenzt werden soll, wird im Abluftplan das I-131-Äquivalent angegeben. Dieses erzeugt bei einem Kleinkind durch Ingestion über den Luft-Weide-Kuh-Milch-Pfad jeweils die gleiche Schilddrüsendosis unabhängig vom emittierten Iodisotop. Organisches Iod ist hinsichtlich des Dosisfaktors mit 0,01 gewichtet und mit elementarem Iod zusammengefaßt. Die Faktoren  $f_i$  (Stand 1985), mit deren Hilfe die Ableitungen von Radioiodisotopen auf I-131-Äquivalent umgerechnet werden, sind:

Iodisotop	$f_i$	Iodisotop	$f_i$
I-123	5 900	I-131	1
I-124	2	I-132	1 220
I-125	1,4	I-133	20
I-126	0,6	I-134	2 900
I-129	0,165	I-135	16 000
I-130	2 050		

$f_i$  ist durch die Beziehung

$$f_i = \frac{A_i}{\Lambda_{131}}$$

definiert. Hierin ist  $A_i$  die für das Iodisotop  $i$  zulässige Ableitung,  $\Lambda_{131}$  jene für I-131. Die für das Iodisotop  $i$  gemessene Ableitung ist also durch  $f_i$  zu dividieren, um das I-131- Äquivalent zu erhalten.

#### Dosisberechnungsverfahren

Seit dem Jahr 1984 wird - entsprechend den "Grundsätzen für die Ableitung radioaktiver Stoffe in die Luft aus dem KfK" vom Mai 1983 - anstatt der Ganzkörperdosis die effektive Äquivalentdosis (kurz: Effektivdosis) abgeschätzt. (Dosis und Dosisleistung bedeutet im folgenden Text stets Äquivalentdosis bzw. Äquivalentdosisleistung.) Die Berechnung der Organdosen folgt der "Allgemeinen Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer" des BMI, Gemeinsames Ministerialblatt, Ausgabe A, 30, 369 (1979) und 33, 735 (1982). Von den dort beschriebenen Verfahren und Parametern wird in folgenden Punkten abgewichen:

- Es werden die durch Experimente des KfK ermittelten Ausbreitungsparameter  $\sigma_y$  und  $\sigma_z$  verwendet.
- Bei der Berechnung des Langzeitausbreitungsfaktors wird eine azimutale Gleichverteilung nicht der Aktivitätskonzentration - wie vom BMI empfohlen -, sondern der Windrichtung über jeden Sektor angenommen. Das ist sachlich richtiger und vermeidet Sprünge an den Sektorgrenzen.
- Es werden die dem Stand der Wissenschaft entsprechenden Dosisfaktoren aus ICRP 30 sowie von D.C. Kocher und anderen neueren Quellen verwendet.
- Die Einzelorgan- bzw. Teilkörperdosen werden nach ICRP 26 gewichtet und für jeden Expositionspfad zu einer Effektivdosis zusammengefaßt.

#### Meteorologische Parameter

Die für die Ausbreitungsrechnung benötigten meteorologischen Parameter werden am 200 m hohen Meßturm gemessen. Für die Berechnung der Strahlenexposition im Vorjahr (Diagnose) werden die aktuellen meteorologischen Meßwerte des Vorjahres verwendet. Für die Vorausberechnung der Strahlenexposition im Folgejahr (Prognose) wird die vierparametrische meteorologische Statistik der Jahre 1972 bis 1982 (s. KfK 3477) zugrunde gelegt. Die Ausbreitungsparameter  $\sigma_y$  und  $\sigma_z$  entsprechen den Ergebnissen der Ausbreitungsversuche im KfK mit Emissionshöhen von 60 m und 100 m (s. KfK 2775).

#### Dosisfaktoren

Die Dosisfaktoren, die zur Berechnung der Organ- und der effektiven Äquivalentdosen durch Inhalation, Ingestion und  $\gamma$ -Strahlung aus der Abluftfahne benötigt werden, wurden vom Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes zur Verfügung gestellt. Die Dosisfaktoren für Inhalation und Ingestion entsprechen bis auf wenige Ausnahmen den in ICRP 30 publizierten. Die chemische Spezies der Nuklide, die zur Auswahl der Inhalations- und Ingestionsklassen bekannt sein muß, wurde entsprechend der Tab. 2 in KfK 3664 festgelegt. Die Organdosen und die effektive Äquivalentdosis durch

den Expositionspfad "γ-Strahlung über kontaminiertem Boden" wurden mit Hilfe der von D.C. Kocher veröffentlichten Dosis-Konversionsfaktoren (Health Phys. 38, 543 (1980)) bestimmt, wobei Dosisbeiträge durch Tochternuklide mitberücksichtigt wurden. Organ- und Effektiv-Dosisfaktoren für die wichtigsten Nuklide bzw. Nuklidgruppen sind in Tab. 5/1 aufgelistet.

Expositionspfad	Organ	Nuklid bzw. Nuklidgruppe	chemische Verbindung	Dosisfaktor	
γ-Submersion	effektiv	N-13	-	Sv·m <sup>2</sup> /Bq·s 2,35 E-17	
		A-41	-	2,7 E-17	
		Xe-133	-	1,1 E-18	
γ-Bodenstrahlung*	effektiv	β-lang alt	-	Sv·m <sup>3</sup> /Bq·s 1,46 E-10	
		β-lang frisch	-	4,9 E-12	
Inhalation	effektiv	α-lang alt	Nitrate oder leicht lösliche Verbindung	Sv·m <sup>3</sup> /Bq·s 2,45 E-08	
		β-kurz alt	"	1,2 E-13	
		β-kurz frisch	Oxide	2,1 E-13	
		β-lang alt	"	1,13 E-11	
	Lunge	β-lang frisch	"	3,9 E-12	
		α-lang alt	"	4,12 E-08	
		β-lang alt	"	7,93 E-11	
	rotes Knochenmark	β-lang frisch	"	2,35 E-11	
		α-lang alt	Nitrate oder leicht lösliche Verbindung	3,42 E-08	
	Knochenoberfläche	β-lang alt	β-lang alt	"	3,5 E-12
			β-lang frisch	Oxide	1,4 E-12
		β-lang alt	Nitrate oder leicht lösliche Verbindung	4,29 E-07	
"			"	8,6 E-12	
Ingestion**	effektiv	β-lang frisch	"	Sv·m <sup>3</sup> /Bq·s 2,2 E-09	
		β-lang alt	"	8,0 E-14	
		β-lang frisch	Oxide	2,3 E-13	
		β-lang alt	Nitrate oder leicht lösliche Verbindung	4,8 E-10	
		β-lang frisch	Oxide	4,3 E-11	
	Schilddrüse Kleinkind	I-131	elementar	7,11 E-08	

\*Nur zur trockenen Ablagerung der Aktivität auf Boden und Pflanze gehörende Anteil des Dosisfaktors

\*\*Aus Radiological Protection Bulletin, NRPB, No. 54, 9 (Sept. 1983)

Tab. 5/1: Dosisfaktoren

$\beta$ -Submersions-, Inhalations- und Ingestionsdosen werden als proportional zur Aktivitätskonzentration in der Nähe des Aufpunktes angenommen. Das Berechnungsverfahren für diese Dosen bzw. Dosisleistungen ist daher einheitlich. Das Rechenprogramm ISOLA III (KfK 2698) berechnet und zeichnet die Isolinien für gegebene Dosisleistungen. Das FORTRAN-IV-Rechenprogramm WOLGA 1 (s. KfK 2189) berechnet die  $\gamma$ -Submersionsdosis an Aufpunkten in der Umgebung mehrerer Emittenten als Summe der Dosisbeiträge der Aktivität im Raum. Bei den berechneten externen  $\gamma$ - und  $\beta$ -Strahlendosen handelt es sich um Ortsdosen, die am Aufpunkt mit einem Strahlenmeßgerät als zusätzliche Dosis - zusätzlich zur natürlichen Strahlung an diesem Ort - gemessen worden wären. Zur Ermittlung der Personendosis müßte demgegenüber berücksichtigt werden, daß sich eine Person nicht die ganze Zeit am selben Ort aufhält (das gilt auch für die Inhalationsdosis) und daß Gebäude und Kleidung die Strahlung teilweise abschirmen. Die berechneten Schilddrüsendosen können nur dann entstehen, wenn an dem betreffenden Ort Weidewirtschaft mit Kühen betrieben wird und die Milch dieser Kühe unvermischt von Kleinkindern, z. B. in einer der benachbarten Ortschaften, kurz nach der Produktion konsumiert wird. Ähnliche Annahmen gelten für die berechneten Ingestionsdosen.

#### 5.1.1.2 Emissionsdaten für 1986

A. Wicke, O. Merk, S. Rinn

In Tab. 5/2 wird eine Übersicht über die im Jahr 1986 von den einzelnen Anlagen des KfK abgeleiteten Aktivitäten gegeben. Bei den Jahressummen wurde in jenen Fällen, in denen zu den abgeleiteten Aktivitäten Werte unter der Nachweisgrenze zu addieren waren, die weniger als 20 % zur Gesamtsumme beitrugen, die <-Zeichen weggelassen. Auf die Wiedergabe der einzelnen Grenzwerte für Kurzzeitabgaben wurde verzichtet, jedoch ist angegeben, welche Effektivdosis sich durch die tatsächliche Emission am Hauptbeaufschlagungspunkt der betreffenden Anlage im ungünstigsten Fall ergibt. Diese Dosisbeiträge dürfen für die Gesamt-KfK nicht direkt addiert werden, da verschiedene Aufpunkte betrachtet werden (vgl. Abschnitt 5.1.1.3).

Bei den Radioiodableitungen werden nicht nur die Ableitungen von einzelnen Radioiodisotopen angegeben, sondern auch in der mit I bezeichneten Spalte die Summe der I-131-Äquivalentwerte. Bei den kurzlebigen Radionukliden wurde folgendermaßen verfahren: Wenn die Annahme einer über die gesamte Sammelperiode konstanten Radioaktivitätsemission plausibel war, wurde die Berechnung unter dieser Annahme durchgeführt. War der Zeitpunkt einer einmaligen Ableitung bekannt, so wurde dies berücksichtigt. Hatten zu n bekannten Zeitpunkten Freisetzungen unbekannter Aufteilung stattgefunden, so wurden n gleichgroße Ableitungen zu diesen Zeitpunkten vorausgesetzt. Lagen dagegen keine Informationen über den Zeitpunkt der Freisetzung vor, wurde die Freisetzung zu Beginn der Sammelperiode angenommen. Man darf also im allgemeinen davon ausgehen, daß die Angaben über die abgeleitete Aktivität an kurzlebigen Radioisotopen auf der sicheren Seite liegen. Bei der Berechnung der Strahlenexposition durch kurzlebige Radionuklide ist die Ungenauigkeit durch die verglichen mit der Sammelperiode kleine Halbwertszeit ohne Bedeutung, da diese Nuklide nur einen vernachlässigbar kleinen Beitrag zur Strahlenexposition der Umgebungsbevölkerung liefern. In keinem Fall wurde der zulässige Jahreswert überschritten. Zum Vergleich werden Jahressummen für das Vorjahr wiederholt.

Die Gesamtableitungen aus dem KfK in die Atmosphäre des Jahres 1986 sind denen des Vorjahres in der nachfolgenden Tabelle gegenübergestellt. Da die Standorte der einzelnen Emittenten zum Teil weit auseinanderliegen, werden im Nahbereich bei gleichzeitiger Emission verschiedene Gebiete beaufschlagt. Daher dürfen diese Daten für den Nahbereich nicht als Emissionsdaten einer einzelnen Quelle angesehen werden.

Ort Nuklid/ Nuklidgruppe	Zulässige Ableitungen (Anlagenrichtwert)		Tatsächliche Ableitungen Bq/a	Vorjahres- wert der Ableitungen Bq/a	Effektiv- dosis am Beaufschla- gungsmaxi- mum der Anlage; $\mu\text{Sv}$
	Bq/Woche	Bq/a			
IGT, Geb. 317 $\Lambda_{\text{AL}}$ $\Lambda_{\text{BL}}$	2,0 E04 2,0 E05	4,0 E05 4,0 E06	- -	< 1,9 E04 5,4 E06	0,08
IRCh, Geb. 321 $\Lambda_{\text{AL}}$ $\Lambda_{\text{BL}}$ E HTO/IIT I	1 E04 5 E06 2 E12 8 E11 5 E05	2 E05 1 E08 4 E12 1,5 E13 1 E07	< 7,6 E03 2,1 E06 2,6 E11 < 1,6 E10 4,2 E07	< 7,5 E03 < 7,3 E04 1,5 E11 < 1,8 E10 < 1,1 E06	0,15
IRCh, Geb. 321A $\Lambda_{\text{AL}}$ $\Lambda_{\text{BL}}$ E HTO I	2 E03 1 E07 2 E12 2 E09 3 E06	3,7 E04 1,9 E08 4,5 E13 3,7 E10 6 E07	< 1,8 E03 < 5,6 E04 1,4 E11 < 3,5 E09 6,9 E06	< 3,1 E03 < 2,0 E04 1,2 E11 < 3,7 E09 < 3,0 E05	0,03
IRCh, Geb. 341 $\Lambda_{\text{AL}}$ $\Lambda_{\text{BL}}$ E HTO I	1 E04 4,5 E06 7,5 E10 1,4 E12 5 E05	2 E05 9 E07 3,8 E11 5,6 E12 1 E07	< 9,9 E03 1,2 E06 < 7,9 E09 < 2,2 E10 2,3 E07	< 1,1 E04 < 1,0 E05 < 7,4 E09 < 2,4 E10 < 1,9 E06	0,07
BFE, Geb. 325 HT	2 E06	5 E07	-	2,7 E05	-
KIZ, Geb. 351 E/GK	1 E12	2 E13	5,1 E12	3,3 E12	0,37
KAZ, Geb. 351 $\Lambda_{\text{BK}}$ $\Lambda_{\text{BL}}$ E/GK I	1 E10 1 E08 1 E13 1,9 E05	2 E11 2 E09 2 E14 3,7 E06	4,9 E06 3,4 E04 3,0 E12 2,7 E06	3,4 E06 3,0 E05 2,7 E12 < 3,1 E05	0,33
KIZ, Geb. 351, Boxenabluft $\Lambda_{\text{BK}}$ $\Lambda_{\text{BL}}$ I	5 E08 5 E06 1,9 E05	1 E10 1 E08 3,7 E06	3,2 E06 < 9,0 E03 1,1 E05	2,0 E07 < 8,8 E03 < 3,5 E04	0,01
LIT, Geb. 403 $\Lambda_{\text{AL}}$ $\Lambda_{\text{BL}}$	- 5 E06	- 1 E08	< 3,2 E02 < 9,5 E03	< 1,5 E03 < 1,5 E04	0,01
LAF II, Geb. 415 A I	5 E05	1 E07	< 1,9 E06	< 1,4 E06	0,03

Tab. 5/2: Ableitung radioaktiver Stoffe aus dem KfK in die Atmosphäre im Jahr 1986 (einschließlich der durch Tschernobyl bedingten Emissionen)

Ort Nuklid/ Nuklidgruppe	Zulässige Ableitungen (Anlagenrichtwert)		Tatsächliche Ableitungen Bq/a	Vorjahres- wert der Ableitungen Bq/a	Effektiv- dosis am Beaufschla- gungsmaxi- mum der Anlage; µSv
	Bq/Woche	Bq/a			
LAF II, Geb. 415 B I	1,0 E06	2,0 E07	< 1,6 E06	< 8,9 E06	0,03
INR, Geb. 420/423/453 HTO/HT	3,7 E11	1,9 E12	-	-	-
KTB/SNEAK, Geb. 452 A <sub>AL</sub> A <sub>BL</sub> E I	3 E05 1 E08 3 E11 5 E06	7 E06 3 E09 7 E12 1 E08	< 2,1 E04 2,6 E06 < 1,1 E07 2,6 E08	< 2,4 E04 < 2,5 E05 < 2,7 E07 < 2,8 E06	0,17
HDB, Geb. 534 A <sub>AL</sub> A <sub>BL</sub> HTO	2 E04 2 E07 2 E09	4 E05 4 E08 4 E10	< 4,5 E03 6,6 E05 < 4,5 E09	< 4,5 E03 < 5,0 E04 < 4,5 E09	0,02
HDB, Geb. 536 A <sub>AL</sub> A <sub>BL</sub> HTO I	2 E06 4 E08 1 E12 1,9 E07	4 E07 8 E09 2 E13 3,7 E08	3,2 E07 3,6 E09 8,0 E10 4,5 E08	< 3,2 E07 5,1 E09 < 1,2 E11 3,5 E08	2,7
HDB, Geb. 545/553 A <sub>AL</sub> A <sub>BL</sub> HTO I	5 E04 2 E07 1 E11 2 E06	1 E06 5 E08 3 E12 5 E07	7,0 E05 5,3 E06 < 3,8 E10 6,7 E07	< 1,6 E04 9,6 E06 < 5,8 E10 < 9,3 E06	0,40
HDB, Geb. 555 A <sub>AL</sub> A <sub>BL</sub> HTO I	5 E04 2 E07 1 E11 2 E06	1 E06 5 E08 2 E12 5 E07	< 3,3 E03 6,4 E05 < 1,1 E10 3,2 E07	< 7,5 E03 9,2 E05 < 8,5 E09 3,7 E07	0,09
HDB, Geb. 548 Ost, und INE, Geb. 547 A <sub>AL</sub> A <sub>BL</sub> HTO I	6 E04 1 E07 5 E10 2 E05	1,2 E06 2 E08 1 E12 5 E06	< 6,9 E04 1,9 E06 4,4 E10 1,2 E08	< 2,3 E04 < 3,3 E05 < 3,5 E10 < 1,6 E06	0,42
HDB, Geb. 548 West A <sub>AL</sub> A <sub>BL</sub> HTO I	3 E04 1 E07 5 E10 2 E05	7 E05 2 E08 1 E12 5 E06	< 1,4 E04 1,8 E06 < 3,3 E10 1,2 E08	< 1,2 E04 < 1,3 E05 < 3,1 E10 < 1,7 E06	0,40
IMF III, Geb. 573/574 A <sub>AL</sub> A <sub>BL</sub>	5 E04 5 E06	1 E06 1 E08	< 1,5 E04 < 5,5 E05	< 1,2 E04 < 1,3 E05	0,01

Tab. 5/2: Fortsetzung

Ort Nuklid Nuklidgruppe	Zulässige Ableitungen (Anlagenrichtwert)		Tatsächliche Ableitungen Bq/a	Vorjahres- wert der Ableitungen Bq/a	Effektiv- dosis am Beaufschla- gungsmaxi- mum der Anlage; µSv
	Bq/Woche	Bq/a			
KTB/FR2, Geb. 606 - 608					
A <sub>AL</sub>	5 E04	1 E06	< 4,3 E03	< 1,8 E04	0,01
A <sub>BL</sub>	5 E06	1 E08	3,3 E05	< 1,7 E05	
HTO	2 E11	5 E12	2,2 E11	3,4 E11	
I	1 E06	2 E07	7,8 E07	< 8,7 E05	
IT, Geb. 601/602					
A <sub>AL</sub>	4 E04	8 E05	< 2,6 E03	< 8,9 E03	0,09
A <sub>BL</sub>	1 E05	3 E06	9,7 E05	< 8,6 E04	
HTO/HT	5 E05	1 E07	< 1,6 E05	< 4,8 E05	
I	2 E05	4 E06	3,3 E07	< 1,7 E06	
IMF I, Geb. 681					
A <sub>AL</sub>	1,9 E04	5,9 E05	< 4,6 E03	< 1,8 E04	< 0,01
A <sub>BL</sub>	-	-	2,6 E05	< 1,9 E05	
KTB/IZ, Geb. 701					
A <sub>AL</sub>	1 E06	3 E07	< 2,0 E04	< 2,4 E04	0,05
A <sub>BL</sub>	5 E08	1 E10	8,9 E06	3,1 E07	
E	4 E12	4 E13	4,3 E10	1,8 E10	
HTO/HT	4 E11	8 E11	< 7,5 E10	< 7,7 E10	
I	1 E07	3 E08	1,2 E08	< 1,0 E07	
INE Geb. 712					
A <sub>AL</sub>	1 E06	3 E07	< 2,7 E03	< 1,3 E04	< 0,01
A <sub>BL</sub>	1 E07	3 E08	4,7 E05	< 1,4 E05	
IICh, Geb. 721/724/726					
A <sub>AL</sub>	9,3 E05	3,7 E07	< 2,3 E04	< 2,5 E04	0,03
A <sub>BL</sub>	1,9 E08	3,7 E09	< 5,6 E05	< 2,7 E05	
HTO/HT	9,3 E10	3,7 E11	< 5,3 E10	< 4,1 E10	
I	3,7 E07	3,7 E08	< 6,4 E07	< 4,8 E07	
IIICh, Geb. 725					
A <sub>AL</sub>	3,7 E04	3,7 E05	< 6,4 E03	< 7,1 E03	0,14
A <sub>BL</sub>	9,3 E06	3,7 E08	< 1,3 E05	< 7,9 E04	
I	9,3 E04	3,7 E06	< 1,2 E07	< 1,0 E07	
KBG/KNK, Geb. 741					
A <sub>AL</sub>	2,8 E05	1,1 E07	< 1,43 E05	< 1,42 E05	< 0,01
A <sub>BL</sub>	1,4 E08	5,6 E09	1,31 E05	2,67 E05	
E	9,3 E12	1,5 E14	2,48 E12	5,73 E12	
HTO/HT	2,0 E11	4,0 E12	6,17 E11	-	
I	9,3 E06	3,7 E08	< 5,05 E06	< 5,05 E06	

Tab. 5/2: Fortsetzung

Ort Nuklid Nuklidgruppe	Zulässige Ableitungen (Anlagenrichtwert)		Tatsächliche Ableitungen Bq/a	Vorjahres- wert der Ableitungen Bq/a	Effektiv- dosis am Beaufschla- gungsmaxi- mum der Anlage; µSv
	Bq/Woche	Bq/a			
TU, Geb. 806					
A <sub>AL</sub>	3 E04	1 E06	2,1 E03	3,2 E03	< 0,01
A <sub>BL</sub>	2 E07	4 E08	1,3 E06	8,6 E04	
KBG/MZFR, Geb. 901					
A <sub>AL</sub>	5 E04	1 E06	6,61 E04	5,70 E03	0,20
A <sub>BL</sub>	5 E07	1 E09	8,2 E07	3,51 E05	
Sr-89	5 E06	1 E08	1,61 E05	1,05 E04	
Sr-90	5 E06	1 E08	-	4,00 E04	
E	5 E11	1 E13	-	-	
HTO/HT	3 E12	3 E13	1,71 E13	2,36 E13	
I	5 E06	1 E08	1,83 E08	-	
C-14	5 E09	1 E10	-	4,10 E09	
WAK/LAVA, Geb. 1501/1531/1502	Bq/Tag				
A <sub>AL</sub>	3,7 E06	3,7 E08	4,94 E06	1,36 E07	4,8
A <sub>BL</sub>	7,4 E08	7,4 E10	4,28 E08	9,47 E09	
Pu-241*	-	7,4 E09	1,54 E08	3,84 E08	
Sr-90	-	3,7 E09	1,66 E07	1,85 E08	
E (Kr-85)	1,3 E14	1,3 E16	3,17 E15	3,40 E15	
HTO/HT	3,7 E11	3,7 E13	7,75 E12	5,50 E12	
I	1,5 E07	1,5 E09	1,24 E09	6,41 E08	
C-14	6,1 E09	6,1 E11	1,83 E11	1,54 E11	

\*Bei WAK wurden gemäß Auflage 93, 18. NT, 3. TBG die Pu-241-Werte explizit mit in die Tabelle aufgenommen. Die Pu-241-Emissionswerte sind in der Spalte für A<sub>BL</sub> berücksichtigt.

Tab. 5/2: Fortsetzung

Nuklid	Ableitung in Bq/a	
	1986	1985
A <sub>AL</sub>	3,8 E07	4,6 E07
A <sub>BL</sub>	4,2 E09	1,5 E10
E	3,2 E15	3,4 E15
HTO	2,6 E13	3,0 E13
I	2,9 E09	1,1 E09
C-14	1,8 E11	1,6 E11

Tab. 5/3: Gesamtableitungen des KfK in die Atmosphäre im Jahr 1986 und 1985 (einschließlich der durch Tschernobyl bedingten Emissionen)

### 5.1.1.3 Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung des KfK für 1986

A. Wicke

Zur Berechnung der Dosisexposition der Umgebung liegen über die Angaben in Tab. 5/2 hinaus monatliche Emissionswerte vor. Da diese z. T. stark schwanken, wurde mit monatlich unterschiedlichen, allerdings über einen Monat konstanten Emissionsdaten gerechnet. Zur Vereinfachung der Dosisberechnungen wurden nur diejenigen Emittenten berücksichtigt, die mehr als 0,5 % zur Gesamtemission eines Nuklids bzw. einer Nuklidgruppe beigetragen haben. Bei den in der Gruppe  $\beta$ -lang bilanzierten Radionukliden der Emittenten HDB-Deko, Geb. 545/555, und KTB/HZ handelt es sich zu über 90 % um Te-125m. Für das Zyklotron (KAZ) wurde Br-77 als Leitnuklid angenommen (Anteil an Gruppe  $\beta$ -lang ca. 60 %). Soweit eine Aufschlüsselung der Einzelnuklide für HDB, Geb. 545/555, und KTB/HZ vorlag, wurden diese in der Diagnoserechnung berücksichtigt. Die entsprechend den Berechnungsgrundlagen ermittelten Organ- und Effektivdosen in den umliegenden Ortschaften, am Zaun des KfK sowie die jeweiligen Dosismaxima enthält Tab. 5/4. Ein Erwachsener in Leopoldshafen erhielt eine Effektivdosis von 4,5  $\mu$ Sv bei Verzehr von hypothetisch am KfK-Zaun erzeugten Lebensmitteln. Ebenso würde ein Erwachsener am KfK-Zaun eine Effektivdosis von 2,2  $\mu$ Sv bei Verzehr von in diesen Ortschaften erzeugten Lebensmitteln erhalten haben. Diese Dosismaxima liegen unter der nach § 45 der Strahlenschutzverordnung zulässigen Ganzkörperdosis von 300  $\mu$ Sv. Die mittlere Effektivdosis der Bevölkerung im Umkreis von 3 km bzw. 20 km um das Kernforschungszentrum Karlsruhe betrug im Jahr 1986 0,9 bzw. 0,2  $\mu$ Sv. Zur Berechnung wurde folgende Beziehung zugrunde gelegt:

$$H = \frac{\sum_i P_i H_i}{\sum_i P_i}$$

wobei P die Einwohnerzahl und H die errechnete Effektivdosis des Ortes i ist.

Die gesonderte Berechnung der Strahlenexposition der Umgebung des KfK durch die mit der Abluft der WAK abgeleiteten Aktivität wird von der Genehmigungsbehörde gefordert. In Tab. 5/4 (unten) sind die entsprechend berechneten maximalen Ortsdosen für 1986 aufgeführt.

### 5.1.1.4 Vorausgeschätzte Strahlenexposition auf der Basis des Abluftplans 1987, Stand März 1987

A. Wicke

Nachfolgende Auflistung enthält die auf der Grundlage des Abluftplanes 1987 (Fassung vom März 1987) vorgegebenen maximalen Emissionen (s. Tab. 5/5). Die Berechnung der Dosen basiert auf konstanter Emissionsrate während des betrachteten Zeitraums. Im Abluftplan wird zusätzlich zur Jahresemission die zulässige Wochen- bzw. Tagesemission angegeben. Eine kontinuierliche Emission über das ganze Jahr, wie für die Rechnung angenommen, entspricht meist nicht dem tatsächlichen Emissionsverlauf. Um einer diskontinuierlichen Emission Rechnung zu tragen, wurde folgendermaßen verfahren: Beträgt die zulässige Wochenemission bis zu 1/50 der Jahresemission bzw. die zulässige Tagesemission bis zu 1/200 der Jahresemission, wird die Emission als kontinuierlich angenommen. Wird diese Grenze nicht eingehalten, dann müßte ein erhöhter Ausbreitungsfaktor für nichtkontinuierliche Emission angewendet werden. Um jedoch das Berechnungsverfahren nicht unangemessen aufwendig werden zu lassen, wird statt dessen mit einer erhöhten, fiktiven Jahresemission gerechnet. Diese ist gleich der 50fachen

Wochenemission bzw. der 200fachen Tagesemission, aber nicht höher als der dreifache Jahresemissionswert. Ist kein Tages- oder Wochenwert angegeben, so ist die fiktive Jahresemission gleich dem dreifachen Jahresemissionswert. Eine Ausnahme bildet die WAK, deren Emissionsspitzen nicht vorwiegend zur gleichen Tageszeit, sondern verteilt über alle Tageszeiten vorkommen. Sie kann deshalb als gleichmäßiger Emittent angesehen werden.

Die Dosisverteilung für die unterschiedlichen Expositionspfade wurde entsprechend den Berechnungsgrundlagen errechnet (Kap. 5.1.1.1). Die  $\gamma$ -Submersionsdosis und die Dosis durch  $\gamma$ -Strahlung über kontaminiertem Boden sind jeweils unter der Annahme des ständigen Aufenthaltes eines gegenüber der Strahlung ungeschützten Menschen am jeweiligen Aufpunkt errechnet. Zur Berechnung der Schilddrüsen-Ingestionsdosis wird angenommen, daß am jeweiligen Aufpunkt Milchwirtschaft mit Kühen betrieben und die erzeugte Milch unvermischt kurze Zeit nach der Produktion zur Ernährung eines Kleinkindes verwendet wird, auch wenn sich an diesem Ort keine Weide, sondern z. B. Wald befindet. In ähnlicher Weise wird zur Errechnung der übrigen Ingestionsdosen angenommen, daß am betreffenden Aufpunkt Gemüse usw. angebaut und von einer Person in einer der umliegenden Ortschaften verzehrt wird. Die Strahlendosen in den umliegenden Ortschaften sowie die jeweiligen Maxima der einzelnen Expositionspfade sind in Tab. 5/6 enthalten.

Die direkte Effektivdosis (Summe der externen und der Inhalationsdosis) erreicht  $56 \mu\text{Sv/a}$ , die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes durch Iodigestion  $434 \mu\text{Sv/a}$ , jeweils am Zaun des KfK. Damit werden die beiden Grenzwerte von  $300 \mu\text{Sv/a}$  Effektivdosis sowie  $900 \mu\text{Sv/a}$  Schilddrüsendosis durch Iodigestion unterschritten. (Dabei ist unterstellt, daß der Grenzwert der Effektivdosis gleich dem bisherigen Grenzwert der Ganzkörperdosis, nämlich  $300 \mu\text{Sv/a}$ , ist.) In beiden Fällen handelt es sich um fiktive Dosen, da sich an diesen Stellen nicht ständig eine Person aufhält bzw. keine Milchwirtschaft betrieben wird. Auch unter Berücksichtigung der übrigen Ingestionspfade werden die genannten Dosisgrenzwerte nicht überschritten: Dazu wird zu der höchsten tatsächlich zu erwartenden direkten Effektivdosis (in Leopoldshafen  $9,6 \mu\text{Sv/a}$ ) die höchste in der Umgebung zu erwartende effektive Ingestionsdosis addiert. Konservativerweise wird dafür das fiktive Dosismaximum ( $86,2 \mu\text{Sv/a}$ ) gewählt. Die gesuchte Effektivdosis unter Berücksichtigung des Ingestionspfades liegt daher in Leopoldshafen (ungünstigster Ort) bei  $96 \mu\text{Sv/a}$ . Die mittlere zu erwartende Effektivdosis der Bevölkerung in der Umgebung des KfK beträgt für 1987  $16,8 \mu\text{Sv}$  im Umkreis von 3 km und  $4,7 \mu\text{Sv}$  im Umkreis von 20 km zum KfK (vgl. Kap. 5.1.1.3).

#### 5.1.1.5 Messung der nuklidspezifischen Aerosolgrößenverteilung in der Fortluft der WAK

##### A. Wicke

Für das Verhalten radioaktiver Aerosole in der Umwelt ist u. a. deren Größenverteilung von entscheidender Bedeutung. In Hinblick auf die Errichtung einer Wiederaufarbeitungsanlage in Wackersdorf sind Messungen der nuklidspezifischen Aerosolgrößenverteilung in der Fortluft der WAK von besonderem Interesse.

In einem gemeinsamen Forschungsvorhaben zwischen der Universität Göttingen (Herrn Dr. Porstendorfer), HS/R und der WAK wurden daher die im November 1985 begonnenen Untersuchungen in diesem Jahr fortgesetzt.

Expositions- pfad	Inhalation* in µSv				Ingestion* in µSv					γ-Sub- mer- sion µSv	γ-Bo- den- strah- lung µSv
	Lunge	Kno- chen- ober- fläche	rotes Kno- chen- mark	effek- tiv-	Kno- chen- ober- fläche	rotes Kno- chen- mark	unte- rer Dick- darm	Schild- drüse Klein- kind**	effek- tiv-		
Organ	Ort										
<b>KfK-Gesamt:</b>											
Graben	0,1	0,9	0,1	0,1	0,8	0,5	0,7	20	0,5	-	0,1
Neudorf	0,1	0,6	0,1	0,1	0,6	0,3	0,5	14	0,4	-	-
<b>Friedrichstal</b>	0,2	1,3	0,1	0,1	0,9	0,5	0,8	29	0,5	-	0,1
Spöck	0,1	0,8	0,1	0,1	0,5	0,3	0,5	15	0,3	-	-
Neuthard	0,1	0,8	0,1	0,1	0,6	0,3	0,5	15	0,4	-	-
Karlsdorf	0,1	0,6	0,1	-	0,4	0,3	0,4	11	0,3	-	-
Staffort	0,1	0,5	-	-	0,3	0,2	0,3	9,4	0,2	-	-
<b>Blankenloch</b>	0,1	0,4	-	-	0,3	0,2	0,3	6,6	0,2	-	-
Hagsfeld	-	0,3	-	-	0,2	0,1	0,2	3,7	0,1	-	-
Karlsruhe	-	0,3	-	-	0,2	0,1	0,2	3,2	0,1	-	-
Neureut	0,1	0,7	0,1	0,1	0,5	0,3	0,5	7,9	0,2	-	-
<b>Eggenstein</b>	0,3	2,0	0,2	0,2	1,3	0,7	1,4	21	0,6	-	-
Leopoldshafen	0,3	2,5	0,2	0,2	1,6	0,9	1,6	33	0,9	0,1	0,1
Linkenheim	0,1	0,9	0,1	0,1	0,7	0,4	0,6	23	0,5	-	0,1
Hochstetten	0,1	0,8	0,1	0,1	0,6	0,4	0,6	18	0,4	-	-
<b>Liedolsheim</b>	0,1	0,5	-	-	0,4	0,2	0,4	11	0,3	-	-
Rußheim	0,1	0,4	-	-	0,3	0,2	0,3	7,4	0,2	-	-
Leimersheim	0,1	0,6	0,1	-	0,4	0,2	0,4	8,3	0,2	-	-
KfK-Südtor	0,5	3,7	0,3	0,3	2,5	2,6	2,6	94	1,5	-	0,2
KfK-Nordtor	0,6	6,2	0,5	0,4	4,6	4,4	4,4	174	3,3	0,7	0,3
<b>Maximale Dosis außerhalb des KfK</b>	1,1	8,2	0,7	0,6	0,6	5,5	5,5	373	4,1	0,8	0,4
<b>Koordinaten des Dosismaximums***</b>	3,92	200	200	392	200	-173	200	200	200	0	200
	679	750	750	679	750	1083	750	750	750	1290	750
<b>Dosis am Ort maximaler externer Dosis</b>	0,5	3,6	0,3	0,3	2,9	1,5	2,7	104	1,6	0,8	0,2
<b>nur WAK:</b>											
<b>Maximale Dosis außerhalb des KfK</b>	0,1	6,9	0,6	0,4	4,2	3,5	4,0	99,0	3,9	0,8	0,1
<b>Koordinaten des Dosismaximums***</b>	-173	-173	-173	-173	-173	-173	-173	520	-173	0	520
	1083	1083	1083	1083	1083	1083	1083	1483	1083	1290	1483

\*Über 50 Jahre integrierte Folgedosen, \*\*enthält die Dosiswerte der durch Tschernobyl bedingten Emissionen in Höhe von rund 55 % (WAK 6,4 %), \*\*\*x/y in m, Koordinatenursprung ist der FR2-Kamin, - Dosis < 0,05 µSv

Tab. 5/4: Maximale Ortsdosen durch die mit der Abluft abgeleiteten radioaktiven Stoffe im Jahr 1986

Nr.	Emittent	Gebäude-Nr.	Kamin- höhe, m	A <sub>Al</sub> Bq	A <sub>BK</sub> Bq	A <sub>BL</sub> Bq	E/G <sub>K</sub> Bq	H-3 Bq	I Bq	C-14 Bq
1	IGT	317	14	1 E05	-	1 E06	-	-	1 E06	-
2a	IRCh	321	16	1 E05	-	2 E07	1 E12	4 E12	6 E06	-
2b	IRCh	321a	15	2 E05	-	2 E08	4 E13	4 E10	6 E07	-
2c	IRCh	341	15	1 E05	-	1 E07	2 E11	2 E12	6 E06	-
3a	BFE	324	12,5	-	-	-	1 E09	-	-	-
3b	BFE	325	12,5	-	-	-	-	5 E07	-	1 E08
4a	IK III (KIZ)	351	36	-	1 E10	1 E08	1 E13	-	2 E06	-
4b	IK III (KAZ)	351	15	-	1 E10	1 E08	1 E14	-	2 E06	-
4c	IK III (Boxen)	351	11	-	1 E10	1 E08	-	-	2 E06	-
5	LIT	403/404	10	-	1 E09	1 E08	1 E09	1 E09	-	1 E09
6a	LAF II (alt)	415/A	8	-	-	-	-	-	1 E07	-
6b	LAF II (neu)	415/B	10	-	-	-	-	-	2 E07	-
7	INR	423	5	-	-	-	2 E10	1,9 E12	-	1 E03
8	INFP	424-426/434	10	-	-	-	3 E11	2 E11	-	-
9	HDB/Betonierung	534	8	4 E04	-	4 E07	-	8 E09	1 E06	-
10	HDB/Verbrennung	536	70	4 E07	-	8 E09	-	2 E13	4 E08	4 E11
10a	HDB/Verbr. neu	536 neu	16,5	1 E05	-	2 E07	-	1 E10	1 E06	-
11	HDB/Analysenboxen	534	8	4 E05	-	4 E07	-	1 E10	2 E05	-
12	HDB/LAW-Eindampf	545/553	19	1 E06	-	5 E08	-	3 E12	5 E07	5 E10
13	HDB/MAW-Lager	555	19	1 E06	-	5 E08	-	2 E12	5 E07	2 E10
14	HDB/Deko + INE-Ost	548/547	15	1,2 E06	-	2 E08	-	1 E12	2 E07	-
14a	HDB/Deko-West	548	15	7 E05	-	2 E08	-	1 E12	2 E07	-
15	HDB neu	563	14	1 E06	-	1 E07	-	8 E11	-	-
16	IMF III	573/574	5	2 E05	-	2 E07	-	6 E11	-	-
17	KTB/FR2	607/608	99	1 E06	-	1 E08	1 E10	5 E12	2 E07	-
17a	IT	601/605	22	8 E05	-	3 E06	6 E08/1 E06	1 E07	-	-
18	TEKO	630	22,6	5 E05	-	-	-	-	-	-
19	IMF I	681	9	5 E05	-	-	-	-	-	-
20	IKVT	691	15	1 E03	-	-	-	-	-	-
21	KTB/HZ	701	60	2 E07	-	8 E09	4 E13	8 E11	3 E08	-
22	INE	712	60	1 E06	-	1 E08	-	1 E09	-	-
23	IHCh	721/724/726	60	3 E06	-	3 E08	8 E12	2 E11	4 E07	4 E09
23a	IHCh	725	10	1 E05	-	1 E07	1 E11	4 E09	1 E06	4 E08
24	KBG/KNK	741	99	1,1 E07	-	5,6 E09	1,5 E14	4,0 E12	3,7 E08	-
25	TU	806	50	1 E06	-	4 E08	2 E12	-	2 E07	-
26	KBG/MZFR	891	99,5	1 E06	-	1 E09	1 E13	3 E13	1 E08	1 E10
27	WAK	1501/31/2	60	3,7 E08	-	7,4 E10	1,3 E16	3,7 E13	1,5 E09	6,1 E11

Tab. 5/5: Maximal zulässige Emissionen (Anlagenrichtwerte) im Bereich des KfK laut Abluftplan für das Jahr 1987

Expositions- pfad	Inhalation* in µSv				Ingestion* in µSv					γ-Sub- mer- sion µSv	γ-Bo- den- strah- lung µSv	
	Lunge	Kno- chen- ober- fläche	rotes Kno- chen- mark	effek- tiv-	Kno- chen- ober- fläche	rotes Kno- chen- mark	unte- rer Dick- darm	Schild- drüse Klein- kind	effek- tiv-			
Organ												
Ort												
KfK:												
Graben	1,2	35,2	3,0	2,2	24,7	13,3	26,5	43,4	9,1	1,3	2,2	
Neudorf	0,9	24,9	2,1	1,6	18,0	9,7	19,0	32,3	6,5	0,9	1,7	
Friedrichstal	1,2	27,6	2,4	1,8	23,2	12,6	22,2	42,6	8,2	1,7	1,8	
Spöck	0,7	16,6	1,4	1,1	14,1	7,6	13,5	25,1	4,9	0,8	1,2	
Neuthard	0,9	21,9	1,9	1,4	18,0	9,7	17,5	30,0	6,2	1,2	1,6	
Karlsdorf	0,6	16,1	1,4	1,0	13,5	7,2	13,0	22,2	4,6	0,8	1,2	
Staffort	0,4	9,3	0,8	0,6	7,9	4,3	7,6	14,9	2,8	0,6	0,7	
Blankenloch	0,4	9,3	0,8	0,6	7,5	4,0	7,4	14,3	2,6	0,4	0,7	
Hagsfeld	0,3	7,2	0,6	0,5	5,7	3,1	5,7	11,2	2,0	0,3	0,6	
Karlsruhe	0,3	6,8	0,6	0,4	5,3	2,9	5,4	10,8	2,0	0,2	0,5	
Neureut	0,6	14,3	1,2	0,9	10,5	5,8	11,2	21,5	4,0	0,7	0,8	
Eggenstein	1,6	33,1	2,8	2,1	24,0	13,4	25,7	49,3	9,4	2,5	1,7	
Leopoldshafen	2,0	57,9	4,9	3,6	35,0	19,4	41,6	68,9	14,1	3,0	2,7	
Linkenheim	1,1	34,7	2,9	2,2	21,6	12,0	25,2	43,8	8,6	1,7	1,8	
Hochstetten	0,9	26,3	2,2	1,6	16,6	9,1	19,2	34,7	6,6	1,0	1,5	
Liedolsheim	0,6	16,1	1,4	1,0	10,4	5,8	11,9	25,3	4,2	0,6	1,1	
Rußheim	0,4	11,3	1,0	0,7	7,7	4,3	8,6	23,4	3,1	0,3	1,0	
Leimersheim	0,5	14,6	1,2	0,9	9,4	5,2	10,8	21,5	3,7	0,6	0,9	
KfK-Südtor	5,1	96,4	8,7	6,8	86,8	50,2	84,9	239,2	35,2	13,4	5,0	
KfK-Nordtor	7,6	263,4	22,1	16,2	204,8	109,9	220,0	295,5	73,8	16,1	21,7	
Maximale Do- sis außerhalb des KfK	11,2	317,8	26,6	19,4	232,5	130,2	245,3	433,8	86,2	38,7	21,7	
Koordinaten des Dosismaxi- mums**	200/ 750	520/ 1483	520/ 1483	520/ 1483	200 750	200 750	520/ 1483	200 750	200 750	-640/ -370	420/ 1480	
Dosis am Ort maximaler externer Dosis	6,4	116,7	10,2	7,9	87,3	49,1	84,8	218,6	33,7	38,7	5,0	

\*Über 50 Jahre integrierte Folgedosen, \*\*x/y in m, Koordinatenursprung ist der FR2-Kamin,  
- Dosis < 0,05 µSv

Tab. 5/6: Maximal erwartete Ortsdosen in der Umgebung des KfK, berechnet auf der Grundlage des Abluftplans für das Jahr 1987, Stand März 1987

Für die Messungen wurde von der Universität Göttingen ein kalibrierter High-Volumenkaskaden-Impaktor, Serie 230, der Firma Sierra Instruments Inc. zur Verfügung gestellt. Der Impaktor besteht aus fünf rechteckigen Jets. Als Sammelmedium werden in der Regel geschlitzte Glasfaserfilter eingesetzt. Der Luftdurchfluß ist elektronisch geregelt und auf 60 m<sup>3</sup>/h eingestellt. Für die Auswertung wird aus den gemessenen Aktivitäten und dem Sammelwirkungsgrad jeder Stufe durch eine mathematische Anpassungsmethode (modifizierte Simplex-Methode nach Nelder und Mead) die unbekannte Aktivitätsgrößenverteilung ermittelt.

Für die Fortluftmessungen bei der WAK wurde der Impaktor auf der Plattform des Abluftkamins 1503 in ca. 60 m Höhe installiert. Durch einen Ansaugrüssel lassen sich sowohl die Emissionen der Gebäudeabluft als auch das Behälterabgas mit dem Auflöseabgas getrennt erfassen. Die Ergebnisse zu den Messungen der Gebäudeabluft am 13./14.11.1985 und 05./06.12.1985 sind in Tab. 5/7 zusammengefaßt. Die Aktivitätsgrößenverteilungen werden durch bimodale logarithmische Verteilungen approximiert (Medianwert  $d_m$  und geometrische Standardabweichung  $\sigma_g$ ). Der Fehler von  $\sigma_g$  durch die  $\gamma$ -spektrometrische Auswertung liegt in der Größenordnung von  $0,01 \cdot 10^{-3}$  Bq/m<sup>3</sup> und die Genauigkeit bei der Durchsatzbestimmung dürfte bei 10 % liegen. Infolge starker Kondensationsprozesse ist es trotz mehrmaliger Versuche leider nicht gelungen, Ergebnisse aus den Messungen des Auflöseabgases zu erzielen.

Nuklid	spezifische Aktivität $c_0$ ( $10^{-3}$ Bq/m <sup>3</sup> )	Aktivitätsgrößenverteilung					
		$d_m$ ( $\mu\text{m}$ )	$\sigma_g$	Anteil	$d_m$ ( $\mu\text{m}$ )	$\sigma_g$	Anteil
Lauf 1 vom 13./14.11.1985							
Co-57	0,09	0,57	1,5	0,53	2,3	1,8	0,47
Ru-106	5,02	0,26	2,2	0,50	2,0	1,4	0,50
Sb-125	0,53	0,74	2,9	0,85	3,8	1,6	0,15
Cs-134	1,21	0,14	2,6	0,22	1,2	1,8	0,78
Cs-137	3,37	0,38	3,2	0,39	1,3	1,7	0,61
Ce-144	4,32	0,61	2,4	0,53	1,4	1,6	0,47
Lauf 2 vom 05./06.12.1985							
Co-57	0,01	0,16	2,6	0,26	2,1	1,4	0,74
Ru-106	9,50	0,30	2,3	0,77	2,2	1,8	0,23
Sb-125	0,67	0,16	1,7	0,07	1,8	2,3	0,93
Cs-134	0,08	0,33	2,2	0,50	1,9	1,7	0,50
Cs-137	0,37	0,12	2,6	0,46	1,5	1,6	0,54
Ce-144	0,57	0,81	2,0	0,15	1,3	1,4	0,19
Am-241	0,02	-	-	-	-	-	-

Tab. 5/7: Nuklidspezifische Aktivitätsgrößenverteilung in der Gebäudeabluft der WAK

5.1.1.6 Die Aktiniden und Sr-Emissionen mit der Abluft wichtiger Emittenten des KfK und der WAK

S. Erat, K. Bender

Die Verbrennungsanlage des KfK sowie die WAK sind die bedeutendsten Emittenten dieser radioaktiven Stoffe. Die abgeleiteten Aerosolaktivitäten werden täglich über Aerosolfilter im Bypass erfaßt und hieraus Monatsmischproben hergestellt. Die Aufarbeitung der Mischproben zur nuklidspezifischen Analyse geschieht monatlich. Die Messung der Aktiniden erfolgt  $\alpha$ -spektrometrisch, die des Sr-90 im Proportionalzähler. Die Ergebnisse der Messungen der Abluftemissionen sind in Tabn. 5/8 und 5/9 wiedergegeben.

Monat	Emissionsraten in kBq/Monat						
	Pu-238	Pu-239 + 240	Pu-241	Am-241	Cm-242	Cm-244	Sr-90
Januar	1 610	96	13 000	128	< 0,1	36	252
Februar	4 150	239	27 000	239	1,7	3,1	1 713
März	1 360	65	8 000	615	< 0,1	6,8	23
April	120	9	1 200	21	< 0,1	< 0,3	2
Mai	8	4	< 86	19	< 0,1	0,8	< 1
Juni	64	33	2 600	47	< 0,3	0,5	6
Juli	370	237	20 000	670	< 0,3	2,3	9
August	192	59	5 000	180	< 0,2	2,6	8
September	35	19	2 400	49	< 1,0	< 1,0	32
Oktober	49	16	800	31	< 0,5	< 0,5	7
November	112	136	6 000	344	< 0,7	6,0	38
Dezember	166	399	13 000	337	< 0,8	9,6	17

Tab. 5/8: Aktiniden- und Sr-90-Emissionen mit der Abluft der Verbrennungsanlage 1985

Monat	Emissionsraten in kBq/Monat					
	Pu-238	Pu-239 + 240	Pu-241	Am-241	Cm-242	Cm-244
Januar	540	155	49 000	40	7,7	90
Februar	505	196	23 000	134	2,8	93
März	28	10,6	1 300	6,9	2,5	9,5
April	84	20	3 400	8,6	6,6	32
Mai	145	33	3 400	7,1	< 0,6	13
Juni	56	12	3 500	44	17	123
Juli	87	21	4 400	18	3,4	35
August	4,7	2,1	400	37	< 0,7	5,0
September	28	16,7	1 400	63	< 0,8	23
Oktober	10,9	3,2	480	1,8	< 0,1	0,6
November	< 1,0	0,5	< 159	2,0	< 0,2	< 0,5
Dezember	< 1,5	< 1,2	< 180	4,2	0,7	1,7

Tab. 5/9: Aktiniden-Emissionen mit der Abluft WAK 1986

## 5.1.2 Abwasser

### 5.1.2.1 Abwasserüberwachung

K.-G. Langguth, K. Maurer, T. Knoch

Die Überwachung des auf dem Betriebsgelände des KfK anfallenden Abwassers hinsichtlich der Radioaktivität wird durch die Hauptabteilung Sicherheit durchgeführt. Dies geschieht im Rahmen des wasserrechtlichen Erlaubnis- und Genehmigungsbescheids in der Fassung vom 26. Oktober 1984 und der atomrechtlichen Genehmigung, die vom Innenministerium bzw. vom Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung Baden-Württemberg erteilt wurden. Die Zuständigkeit ging 1984 an das Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg (EM), Stuttgart, über.

Das Abwasser setzt sich zusammen aus Niederschlagswasser, häuslichem Schmutzwasser, Kühlwasser und Chemieabwasser. Das Niederschlagswasser, das häusliche Schmutzwasser und das Chemieabwasser werden innerhalb des Betriebsgeländes in getrennten Kanälen abgeleitet. Das unschädliche Kühlwasser wird nach behördlicher Zulassung zusammen mit dem Niederschlagswasser in den unmittelbar an das KfK angrenzenden Hirschkanal eingeleitet, dessen Aktivitätskonzentration durch kontinuierliche Probenahme überwacht wird (s. Kap. 5.1.3). Die häuslichen Schmutzwässer werden der Kläranlage für Schmutzwasser zugeführt (s. Abb. 5/1), gereinigt und in den sogenannten Schmutzwasserendbecken gesammelt. Vor der Abgabe in den Vorfluter wird eine Aktivitätskontrollmessung durchgeführt.

Die im KfK 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 damit der Kläranlage für Chemieabwasser zugeführt. Chemieabwässer aus Kontrollbereichen oder aus Betriebsstätten, in denen mit radioaktiven Stoffen umgegangen wird, (Chemieabwasser II), werden beim Anfallort in Abwassersammelstationen gesammelt. Anhand der von der Gruppe Abwasserüberwachung durchgeführten Aktivitätsmessung wird gemäß der geltenden atomrechtlichen Genehmigung über die Weiterverarbeitung des Abwassers entschieden:

Liegt die Aktivität aus genehmigungsbedürftigem Umgang je Kubikmeter unter dem 150fachen der in der Strahlenschutzverordnung genannten Jahresingestionswerte, so werden die Abwässer über das Chemieabwassernetz I der Kläranlage zugeführt. Bei Aktivitätskonzentrationen zwischen dem 150- und dem 10<sup>8</sup>fachen wird es in das Chemieabwassersystem III eingeleitet und in die LAW-Verdampfer der Dekontaminationsanlage eingespeist. (Bei Radionuklidgemischen bekannter Zusammensetzung sind die Grenzwerte als Summe der Nuklidanteile nach der Summenformel zu ermitteln.)

Abwässer mit Aktivitäten pro Kubikmeter zwischen dem 10<sup>8</sup>- und dem 10<sup>11</sup>fachen der Jahresingestionswerte (MAW) werden ausschließlich mit speziellen, abgeschirmten Tankwagen in die Dekontaminationsanlage überführt. Liegt die Aktivitätskonzentration des dekontaminierten Abwassers bei Tritium unterhalb des 30000fachen und bei den übrigen Radionukliden unter dem 1000fachen der Jahresingestionswerte, so wird es ebenfalls der Kläranlage für Chemiewasser zugeführt.

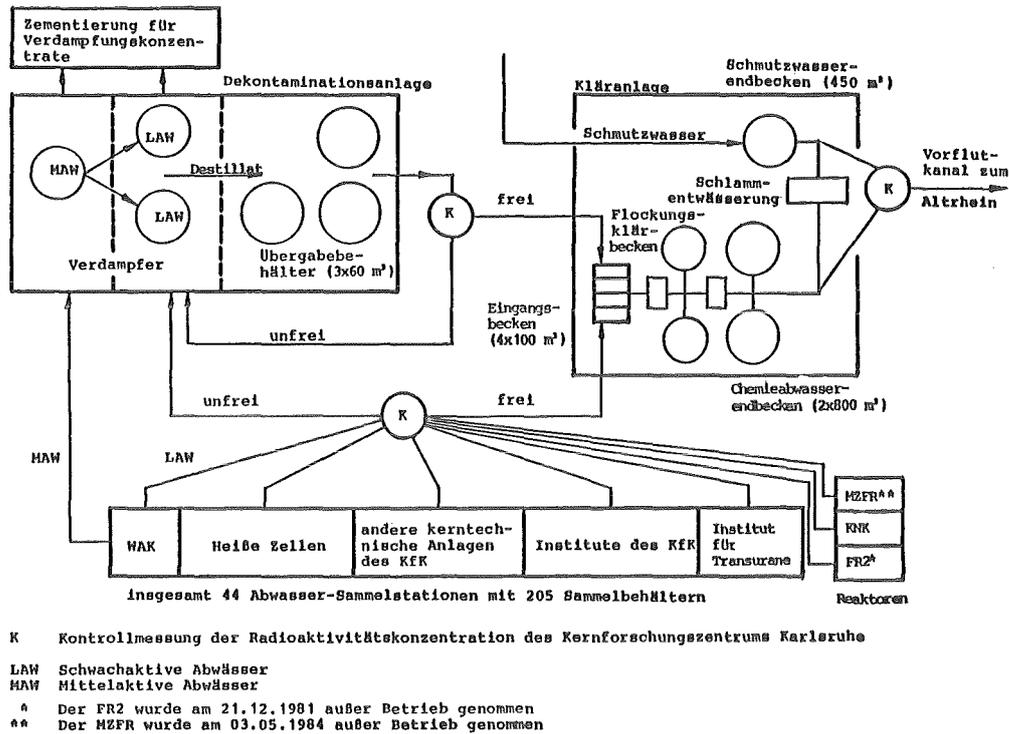


Abb. 5/1: Vereinfachtes Fließschema der Abwässer des KfK

Das in der Kläranlage gereinigte Abwasser wird schließlich in den zwei Endbecken für Chemieabwasser mit je 800 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen gesammelt. Vor der Ableitung der Abwässer in den Vorfluter erfolgt eine Endkontrollmessung im Sinne einer Entscheidungsmessung über die Freigabe gemäß der atomrechtlichen Genehmigung. Über einen 2,9 km langen Rohrkanal gelangen die Abwässer in einen als Vorfluter dienenden Altrheinarm, ehe sie - über eine Distanz von 23,6 km gemischt mit Oberflächenwasser - den Rhein erreichen.

Zusätzlich zu den Entscheidungsmessungen, die vor Abgabe des Abwassers aus den Abwassersammelstationen und den Endbecken durchzuführen sind, wird die mit dem Abwasser abgeleitete Aktivität durch nuklidspezifische Analyse von Wochen- und Monatsmischproben, die mengenproportional aus Teilmengen der einzelnen abgeleiteten Abwasserchargen aus den Endbecken herzustellen sind, bilanziert.

Die Eigenüberwachung der radioaktiven Emissionen mit dem Abwasser aus dem KfK wird durch Messungen behördlich beauftragter Sachverständiger kontrolliert. Aufgrund einer Anordnung des SM wird seit 1. Januar 1980 auf das KfK sinngemäß das Kontrollprogramm gemäß der Bekanntmachung des BMI vom 10. Mai 1978 über die "Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken" angewandt. Danach werden durch das Bundesgesundheitsamt, das als beauftragter Sachverständiger von der zuständigen Behörde (EM) beigezogen wurde, Kontrollmessungen an Wochen- und Monatsmischproben durchgeführt.

Neben den Messungen im Rahmen des Überwachungskonzepts, das durch die atomrechtliche Genehmigung und durch Auflagen vorgegeben ist, werden für die Institute und Abteilungen des KfK Messungen an Wasser- und Feststoffproben verschiedenster Art und Herkunft von der Gruppe "Abwasserüberwachung" durchgeführt.

Tab. 5/10 gibt eine Übersicht über die Herkunft, Art und Anzahl der Proben, die 1986 in der Gruppe "Abwasserüberwachung" bearbeitet wurden, sowie über Art und Anzahl der daran durchgeführten Einzelmessungen.

Art der Proben	Anzahl der Proben	Anzahl der durchgeführten Messungen						Summe der Einzelmessungen
		α	β	H-3	α-Spektroskopie	γ-Spektroskopie	β-Energiebestimmung	
Abwasser aus								
- Abwassersammelstation	8 671	8 671	8 671	1 865	654	1 426	444	21 731
- Endpufferbecken	454	454	454	454	8	38	451	1 859
- Endpufferbecken (Mischproben)	64	64	64	64	0	0	0	192
Schlamm aus Zyklator und Abwassersammelstationen	76	76	76	0	0	0	0	152
Wasserproben FR2 (Brauchwasserfilter und Absetzbecken)	101	101	101	101	0	101	0	404
Leuchtfarbenproben zur Abluftüberwachung (FR2, Abwasser-, Gerätedekontaminations- und Verbrennungsanlage, IRCh, IHCh, HZ)	939	0	0	939	0	0	0	939
Sonderproben und Auftragsmessungen	6 293	3 068	3 068	5 254	15	936	35	12 376
Proben im Rahmen von radioökologischen Forschungsarbeiten	894	0	0	894	0	0	0	894
Summe 1986	17 492	12 434	12 434	9 571	677	2 501	930	38 547
Summe 1985	17 679	13 079	13 028	7 486	595	3 003	554	37 745

Tab. 5/10: Art und Anzahl der Proben sowie der 1986 durchgeführten Einzelmessungen

In Tab. 5/11 ist die Verteilung der angefallenen Abwasseraktivität auf die verschiedenen Anlagen und Institute des KfK, geordnet nach abnehmender β-Aktivität, wiedergegeben. Es wurden nur solche Anlagen oder Institute einzeln aufgeführt, deren Beitrag zur Abwasseraktivität über 1 % lag.

Die insgesamt aus dem KfK mit dem Abwasser abgeleitete Radioaktivität ist in Tab. 5/12 aufgeführt. Zum Vergleich sind wiederum die Vorjahreswerte angegeben.

Abwassersammelstation des KfK	Nachgewiesene $\alpha$ -Aktivität		Nachgewiesene $\beta$ -Aktivität ohne H-3		Abwassermenge	
	MBq	%	MBq	%	m <sup>3</sup>	%
TU	20 700	59,5	19 100	27,4	6	< 0,1
INE	13 600	39,1	17 200	24,6	2 130	2,5
KNK	40	0,1	16 700	23,9	126	0,1
MZFR	32	0,1	6 640	9,5	973	1,1
Heiße Zellen	57	0,2	6 240	8,9	1 480	1,7
HDB-Verbrennungsanlage	278	0,8	3 200	4,6	590	0,7
Restliche Abwassersammelstationen	93	0,2	720	1,1	81 300	93,9
Summe 1986	34 800	100	69 800	100	86 600	100
Summe 1985	277 000		2 000 000		92 400	

Tab. 5/11: Herkunft und Aktivitätsanteil der 1986 im KfK angefallenen schwachaktiven Abwässer

Mit dem Abwasser abgeleitete nachgewiesene Aktivität in MBq (Gesamtaktivitäten: Summe der Einzelableitungen; nuklidspezifische Aktivitäten: ermittelt anhand von mengenproportionalen Monatsmischproben)		
	1986	1985
$\alpha$ -gesamt	50	86
$\beta$ -gesamt (ohne H-3)	1 290	1 220
H-3	90,1·10 <sup>6</sup>	96,3·10 <sup>6</sup>
Se-75	0	0,8
Sr-89	39,2	9,1
Sr-90	80,5	32,0
Ru-103	28,1	0
Sb-125	0	2,8
I-131	48,0	0
Cs-134	30,3	0
Cs-137	190,2	83,3
Pu-238	4,3	5,5
Pu-239 + 240	5,9	6,9
Am-241	0	13,9
Aus dem KfK abgeleitete Abwassermenge in m <sup>3</sup>	286 570	277 430
Anzahl der abgeleiteten Endbeckenfüllungen	454	501

Tab. 5/12: 1985 und 1986 aus dem KfK in den Altrhein bei Leopoldshafen abgeleitete Abwassermenge und -aktivität

Einen Überblick über die Entwicklung der mit dem Abwasser des KfK in den letzten 18 Jahren in den Vorfluter abgeleiteten Radioaktivität gibt. Abb. 5/2.

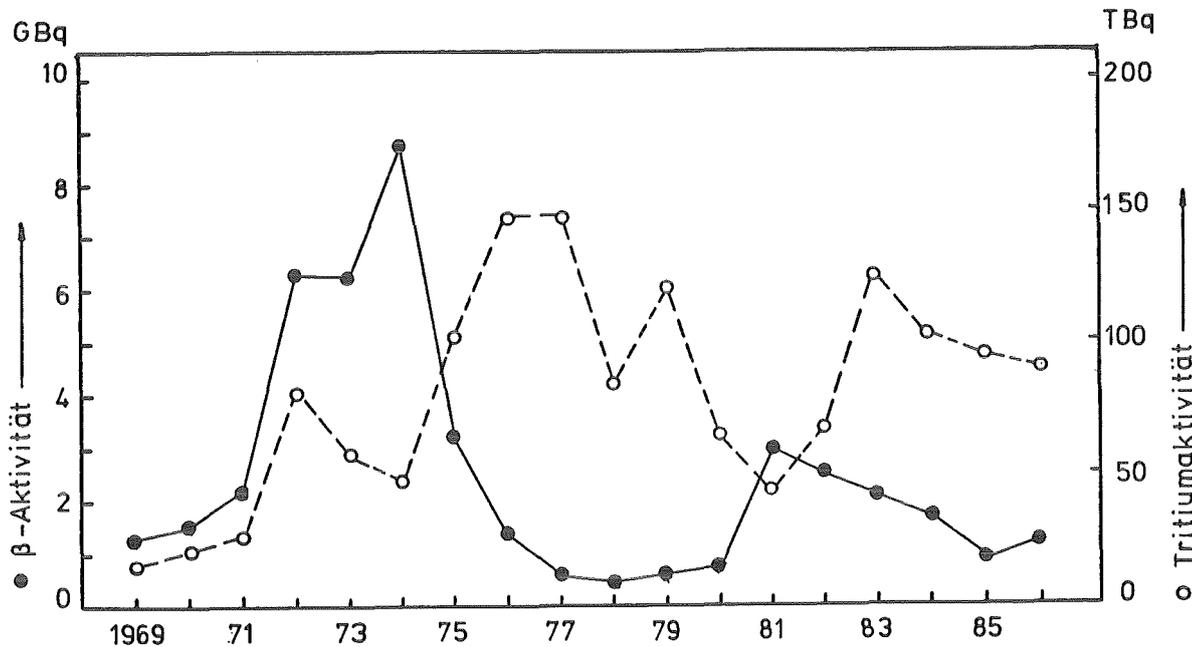


Abb. 5/2: Entwicklung der mit dem Abwasser aus dem KfK jährlich abgeleiteten  $\beta$ - und Tritiumaktivität seit 1969

### 5.1.2.2 Die Aktiniden- und Sr-Emissionen mit dem Chemieabwasser des KfK

S. Erat, K. Bender, P. Perchio

Die in Monatsmischproben des Chemieabwassers der KfK bestimmten Aktivitätsgehalte an Sr-90, Pu-238, Pu-239 + 240 und Pu-241 basieren auf einer mengenproportionalen Probenahme im Chemieendbecken. Hierzu werden jeweils entsprechende Teilmengen der einzelnen, während eines Monats abgeleiteten, Abwasserchargen entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. Die nuklidspezifischen Analysen erfolgen an einer Teilmenge der Monatsmischprobe. Hierbei wird das Radiostrontium als  $\text{SrSO}_4$ -Präparat in einem Low-level- $\beta$ -Meßplatz gemessen. Die Plutoniumisotope werden gemeinsam in einer Elektrolysezelle durch Elektrodeposition auf Edelmetallplättchen abgeschieden. Der schwache  $\beta$ -Strahler Pu-241 wird im Flüssigszintillationsspektrometer gemessen, die  $\alpha$ -Strahler Pu-238 und Pu-239 + 240 werden  $\alpha$ -spektrometrisch bestimmt. Die 1986 erfolgten monatlichen Aktivitätsabgaben aus dem Chemieendbecken des KfK sind hierfür Tab. 5/13 zu entnehmen.

Monat	Emissionsraten in MBq/Monat			
	Pu-238	Pu-239 + 240	Pu-241	Sr-90
Januar	0,29	0,35	< 67	4,15
Februar	0,13	0,11	< 22	2,58
März	0,27	0,21	< 32	4,60
April	0,21	0,15	< 23	1,08
Mai	0,14	0,22	< 23	4,49
Juni	0,15	0,17	< 18	3,60
Juli	1,29	1,63	74	19,5
August	0,33	0,49	46	8,08
September	0,80	1,18	73	2,58
Oktober	0,57	0,59	32	6,06
November	< 0,40	0,65	< 98	12,5
Dezember	0,15	0,17	< 34	11,2

Tab. 5/13: Emissionsraten mit dem Chemieabwasser des KfK 1986

### 5.1.3 Umgebungsüberwachung

S. Hempelmann, E. Däuble, F. Werner

Für die Umgebungsüberwachung ist zum 1. April 1986 ein 1985 erarbeitetes und vom EM genehmigtes verändertes Meß- und Probenahmeprogramm in Kraft getreten. Eine Anpassung des Meß- und Probenahmeprogramms wurde infolge der veränderten Verteilung von potentiellen Emittenten im KfK notwendig. Es findet jetzt eine verstärkte Überwachung der HDB und WAK statt, während die Überwachung der abgeschalteten Reaktoren (z. B. FR2) eingeschränkt wurde. Weiterhin wurde das bisher gültige Umgebungsüberwachungsprogramm um die Messung der natürlichen Aktivität und die Ermittlung der radioökologisch relevanten stabilen Elemente erweitert. Auch wurden Messungen und Meßorte, die schon lange ein fester Bestandteil der Umgebungsüberwachung waren, aufgenommen. Die Probenahmeorte, Probenart und Probenahmefrequenz sind so aufeinander abgestimmt, daß eine jährliche Dosisberechnung möglich ist.

Das ab 1. April 1986 gültige Programm ist in Tab.5/14 dargestellt. Die dazugehörigen Probenahme- und Meßstellen sind der Landkarte und dem Bebauungsplan des KfK zu entnehmen.

#### Direktmessung der Strahlung

Bei der Direktmessung der Strahlung ergeben sich weder für die Zählrohr Außenstationen noch für die Zählrohrmonitoranlage des KfK Werte, die auf eine Emission des KfK zurückzuführen sind. Bei den Meßstellen im Bereich der WAK wurden 27 Überschreitungen der Warnschwelle von 67  $\mu\text{Sv/h}$  beobachtet, die durch Röntgenarbeiten oder Brennelementauflösungen verursacht wurden. Im Mai 1986 wurde ein Anstieg der Ortsdosisleistung aller Meßstellen des KfK infolge des Reaktorunfalls in Tschernobyl beobachtet. Der höchste Dosisleistungsmeßwert betrug 0,21  $\mu\text{Sv/h}$ .

Bei der Überwachung der Umgebungsstrahlung des KfK- und WAK-Geländes mit Festkörperdosimetern (LiF-Preßlinge, gekapselt mit 500 mg/cm<sup>2</sup> Plexiglas) wurden nur im Bereich der IIDB und des KNK erhöhte Dosiswerte festgestellt (Tab. 5/15). Diese Erhöhungen können auf Direktstrahlung zurückgeführt werden. In der Umgebung des KfK wurden keine erhöhten Dosiswerte beobachtet.

#### Radioaktivitätsmessung

Tab.5/16 sind die mittleren Luft- und Niederschlagsaktivitäten zu entnehmen. Erhöhte Aktivitätskonzentrationen, die auf Emissionen durch die KfK zurückzuführen sind, wurden nicht festgestellt. Bereits im Mai wurden durch den Reaktorunfall in Tschernobyl nahe 100% des Zeitintegrals der Aktivitätskonzentrationen erreicht. In Tab. 5/16 sind nur die Nuklide, welche für die durch Inhalation verursachte Effektivdosis relevant sind, berücksichtigt. Der Anteil dieser Nuklide (Ru-103, Ru/Rh-106, Te-129m, I-131, Cs-134, Cs-137) an der gesamten durch Inhalation verursachten Effektivdosis beträgt ca. 97%.

In den Tabn. 5/17 bis 5/19 sind die maximalen Aktivitätskonzentrationen im biologischen Material, Nahrungsmitteln, Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser dargestellt. Es werden nur die wesentlichen Ergebnisse berichtet. Eine ausführliche Zusammenstellung der Meßergebnisse ist den jeweiligen Quartalsberichten zu entnehmen. Im Boden, Bewuchs und Schlamm (Tab. 5/17) wurde eine Erhöhung der Aktivitätskonzentration gemessen, die durch den Fallout vom Reaktorunfall in Tschernobyl verursacht wurde.

In den Nahrungsmitteln (Tab. 5/18) wurde nur beim Getreide ein Anstieg der Cs-134- und Cs-137-Aktivität gegenüber dem Vorjahr gemessen. Da das Getreide im Mai in Blüte stand, ist die Kontamination hauptsächlich durch die Umgebungsluft erfolgt. Bei den erst nach Mitte Mai gesetzten Pflanzen (Blattgemüse und Wurzelgemüse) wurde nur geringfügige Aktivität gefunden.

Im Grund- und Trinkwasser (Tab. 5/19) der Wasserwerke und Brunnen zwischen dem KfK und Linkenheim wurde keine erhöhten Aktivitäten gemessen. Bei den Aussiedlerhöfen wurde im Trinkwasser eine H-3-Aktivität von maximal 150 Bq/l festgestellt. Im Oberflächenwasser des Altrheins wurde eine maximale H-3-Aktivitätskonzentration vom 6600 Bq/l ermittelt. Ansonsten wurden keine erhöhten Aktivitätskonzentrationen gemessen, die auf Emissionen durch die KfK zurückzuführen sind.

Pro-gramm-punkt	Überwachungs-einrichtung	Meßgrößen	Standort der Meßstellen (s. Lageplan)	Registrierung
1	<b>Direktmessung der Strahlung</b>			
1.1	Zählrohraußenstationen  Zählrohre BZ 120 auf Kurbelmasten	( $\beta+\gamma$ )-Strahlungspegel	KfK, Geb. 123 Leopoldshafen, Albert-Einstein-Straße 6 Linkenheim, Friedenstraße 10, Friedrichstaler Landstraße und Forsthaus (nördlich WAK) Friedrichstal, Rheinstraße 36 Blankenloch, Hauptstraße 100 Karlsruhe, Erzbergerstraße 111 Eggenstein, Kirchenstraße 17	automatische, telefonische Abfrage, viermal täglich  Kreisblattschreiber zur Dokumentation
1.2	Zählrohrmonitor-Anlage zur Überwachung des Betriebsgeländes  KfK (ohne WAK) Zählrohre BZ 120 mit Energiekompensationsfilter  Zählrohre Typ 18529 Valvo mit Energiekompensationsfilter	$\gamma$ -Äquivalentdosis 18 Detektoren mit Warnschwelle bei 10 $\mu$ Sv/h  10 Detektoren mit Alarmschwelle bei 1 mSv/h	innerhalb des Betriebsgeländes	Meßwertanzeige auf 28 Einzelinstrumenten in der Überwachungszentrale in Geb. 123  kontinuierliche Registrierung auf Mehrfachpunkt-druckern
	WAK Zählrohre BZ 120 ohne Energiekompensationsfilter  Zählrohre Typ 18529 Valvo mit Energiekompensationsfilter	( $\beta+\gamma$ )-Strahlungspegel 4 Detektoren mit Warnschwelle bei 67 ips  $\gamma$ -Äquivalentdosis 2 Detektoren mit Alarmschwelle bei 1 mSv/h	an 5 Standorten entlang der Grenze des Betriebsgeländes der WAK	Meßwertanzeige auf 6 Einzelinstrumenten in der Überwachungszentrale in Geb. 123  kontinuierliche Registrierung auf Mehrfachpunkt-druckern
1.3	Dosisleistungsmeßanlage	$\gamma$ -Ortsdosisleistung	Meßhütten "Nordost", "West" und "Forsthaus"	kontinuierliche Registrierung
1.4	Festkörperdosimeter Thermolumineszenz-Dosimeterpaare LiF Preßlinge TLD-700-Kapseln (500 mg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma$ -Äquivalentdosis	45 entlang der Grenze des betrieblichen Überwachungsbereiches des KfK	Auswertung erfolgt halbjährlich
			5 Standorte am südlichen WAK-Zaun	
			40 Standorte im Betriebsgelände des KfK, ohne WAK	
			8 Standorte in der Umgebung von Geb. 519 und 526	Auswertung erfolgt vierteljährlich
			13 Standorte an der westlichen Betriebsgeländegrenze des HDB-Bereichs	Auswertung erfolgt halbjährlich
			20 Standorte entlang des Betriebsgeländezaunes der HDB	
			8 Standorte an den Zählrohraußenstationen	Auswertung erfolgt halbjährlich
38 Umgebungsdosimeter; jeweils 2 - 3 Dosimeter von den umliegenden Ortschaften Eggenstein, Leopoldshafen, Linkenheim, Hochstetten, Dettenheim, Graben-Neudorf, Spöck, Friedrichstal, Staffort, Stutensee-Blankenloch, Büchig, Waldstadt, Karlsruhe, Neureut				

Tab. 5/14: Programm zur Überwachung der Umweltradioaktivität im Kernforschungszentrum Karlsruhe

Pro-gramm-punkt	Überwachtes Medium	Meßgrößen	Probenahmeort	Art und Häufigkeit der Probenahme und -messung
2 2.1	Radioaktivitätsmessung Luft	Langlebige $\alpha$ - und $\beta$ -Bruttoaktivitätskonzentration (ca. 7 Tage nach Probenahme)	Festfilteranlagen in den Meßhütten "Nordost", "West" und "Forsthaus"	zweimal wöchentlich
		durch $\gamma$ -Spektrometrie ermittelte Aktivitätskonzentration von Einzelnucliden		
		Pu-Aktivitätskonzentration (Pu-238, Pu-239+240)		
		Pb-210-Aktivitätskonzentration		
		Sr-90-Aktivitätskonzentration, wenn der errechnete Quartalsmittelwert der $\beta$ -Aktivitätskonzentration $> 1,85 \text{ mBq/m}^3$		
		Rn-222-Aktivitätskonzentration		
		I-131-Aktivitätskonzentration	"Forsthaus"	zweimal monatlich
2.2	Niederschlag	H-3-Aktivitätskonzentration	Jeweils ca. 250 m entfernt in den beiden Hauptwindrichtungen von WAK und MZFR	zweimal monatlich
		durch $\gamma$ -Spektrometrie ermittelte Aktivitätskonzentration von Einzelnucliden	Niederschlagssammler in den Hauptwindrichtungen der WAK	monatlich
2.3	Boden	spezifische $\alpha$ - und $\beta$ -Bruttoaktivitätskonzentration	2 Probenahmegebiete in den beiden Hauptausbreitungssektoren bei ungestörtem Boden je 5 cm und bei landwirtschaftlich genutztem Boden 30 cm der obersten Bodenschicht	jährlich
		durch $\gamma$ -Spektrometrie ermittelte spezifische Aktivität von Einzelnucliden		
		spezifische Pu-Aktivität (Pu-238, Pu-239+240)	2 Probenahmestellen in beiden Hauptwindrichtungen 200 - 800 m vom WAK-Kamin, Referenzstelle Raum Durlach je 5 cm der obersten Bodenschicht	
		Sr-90-Aktivitätskonzentration		
		Pb-210-Aktivitätskonzentration		
		radioökologisch relevante stabile Elemente (Ca, K, Sr, Cs, Co, Sb usw.)		
		Bodenanalyse bei der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Forschungsanstalt am Augustenberg		

Tab. 5/14: Fortsetzung

Pro-gramm-punkt	Überwachtes Medium	Meßgrößen	Probenahmeort	Art und Häufigkeit der Probenahme und -messung
2.4	Bewuchs	spezifische Rest-B-Aktivitätskonzentration	in den beiden Hauptausbreitungssektoren Referenzstelle Durlach	halbjährlich
		durch $\gamma$ -Spektrometrie ermittelte Aktivität von Einzelnucliden		
		spezifische K-40-Aktivität		
		Pb-210-Aktivitätskonzentration		
		radioökologisch relevante stabile Elemente (Ca, K, Sr, Cs, Co, Sb usw.)		
		H-3-Aktivitätskonzentration	Aussiedlerhöfe	jährlich
2.5	pflanzliche Nahrungsmittel	spezifische Rest-B-Aktivitätskonzentration	in den beiden Hauptausbreitungssektoren	jährlich zur Erntezeit 10 verschiedene Sorten von Blatt- und Wurzelgemüse sowie Getreide
		durch $\gamma$ -Spektrometrie ermittelte spezifische Aktivität von Einzelnucliden		
		Spezifische K-40-Aktivität		
		Pb-210-Aktivitätskonzentration		
		radioökologisch relevante stabile Elemente (Ca, K, Sr, Co, Sb usw.)		
		spezifische Sr-90-Aktivität		
		H-3-Aktivitätskonzentration		
		H-3-Aktivitätskonzentration	Aussiedlerhöfe	3 verschiedene Sorten, jährlich wechselnd

Tab. 5/14: Fortsetzung

Pro-gramm-punkt	Überwachtes Medium	Meßgrößen	Probenahmeort	Art und Häufigkeit der Probenahme und -messung
2.6	Oberflächenwasser	H-3-Aktivitätskonzentration	Altrhein ca. 300 - 500 m unterhalb der Abwassereinleitung	kontinuierlich, Messung von Wochenmischproben
		Langlebige $\alpha$ - und Rest- $\beta$ -Aktivitätskonzentration (ca. 7 Tage nach Probenahme)		
		durch $\gamma$ -Spektrometrie ermittelte Aktivitätskonzentration von Einzelnucliden		
		spezifische Sr-90-Aktivitätskonzentration		Messung von Quartalsmischproben
		Pb-210-Aktivitätskonzentration		
		radioökologisch relevante stabile Elemente (Ca, K, Sr, Cs, Co, Sb usw.)		
		H-3-Aktivitätskonzentration	Hirschkanal (nahe NO-Ecke des KfK)	kontinuierlich, Messung von Wochenmischproben
		Langlebige $\alpha$ - und Rest- $\beta$ -Aktivitätskonzentration (ca. 7 Tage nach Probenahme)		
		Wenn bei der Wochenmischprobe die $\beta$ -Aktivitätskonzentration $> 0,74$ Bq/l; durch $\gamma$ -Spektrometrie ermittelte Aktivitätskonzentration von Einzelnucliden		
		H-3-Aktivitätskonzentration	Baggersee "Streitköpfe", "Mittelgründloch", "Rohrköpfe", "Liedolsheim klein", "Hammgraben"	vierteljährlich
2.7	Grund- und Trinkwasser	H-3-Aktivitätskonzentration	Wasserwerk Süd des KfK Wasserwerk Tiefgestade des KfK Wasserwerk Leopoldshafen Wasserwerk Linkenheim-Hochstetten 2 Schluckbrunnen (WAK-Grundwasserhaltung) Beobachtungsbrunnen PIV/1 zwischen KfK und Wasserwerk Linkenheim-Hochstetten	vierteljährlich
		Langlebige $\alpha$ - und Rest- $\beta$ -Aktivitätskonzentration (ca. 7 Tage nach Probenahme)		
		Wenn $\beta$ -Aktivitätskonzentration $> 0,37$ Bq/l; durch $\gamma$ -Spektrometrie ermittelte Aktivitätskonzentration von Einzelnucliden		
		H-3-Aktivitätskonzentration	Aussiedlerhöfe Gasthaus	monatlich
		Langlebige $\alpha$ - und Rest- $\beta$ -Aktivitätskonzentration (ca. 7 Tage nach Probenahme)	Gasthaus	halbjährlich
		durch $\gamma$ -Spektrometrie ermittelte Aktivitätskonzentration von Einzelnucliden		

Tab. 5/14: Fortsetzung

Pro-gramm-punkt	Überwachtes Medium	Meßgrößen	Probenahmeort	Art und Häufigkeit der Probenahme und -messung
2.8	Schlamm	spezifische $\alpha$ - und $\beta$ -Bruttoaktivitätskonzentration	Altrhein, Gemarkungsgrenze <u>unterhalb</u> Abwassereinleitung	monatlich
		durch $\gamma$ -Spektrometrie ermittelte Aktivitätskonzentration von Einzelnucliden		vierteljährlich
		Plutoniumaktivitätskonzentration (Pu-238, Pu-239+240)		
		Pb-210-Aktivitätskonzentration		
		radioökologisch relevante stabile Elemente (Ca, K, Sr, Co, Sb usw.)		
		spezifische $\alpha$ - und $\beta$ -Bruttoaktivitätskonzentration	Altrhein <u>oberhalb</u> Abwassereinleitung als Referenzstelle	vierteljährlich
		spezifische $\alpha$ - und $\beta$ -Bruttoaktivitätskonzentration	Hochkanal (nahe Nordost-Ecke des KfK)	monatlich
durch $\gamma$ -Spektrometrie ermittelte Aktivitätskonzentration von Einzelnucliden				
2.9	Fisch (Fried- und Raubfische)	spezifische Rest- $\beta$ -Aktivitätskonzentration	Altrheingebiet <u>unterhalb</u> Abwassereinleitung	halbjährlich
		durch $\gamma$ -Spektrometrie ermittelte spezifische Aktivität von Einzelnucliden		
		spezifische K-40-Aktivität		
		spezifische Sr-90-Aktivität		
		Pb-210-Aktivitätskonzentration		
		radioökologisch relevante stabile Elemente (Ca, K, Sr, Cs, Co, Sb usw.)		
2.10	Milch	H-3-Aktivitätskonzentration	Aussiedlerhöfe	jährlich

Tab. 5/14: Fortsetzung

Pro-gramm-punkt	Überwachtes Medium	Meßgrößen	Probenahmeort	Art und Häufigkeit der Probenahme und -messung
3	Dosis-berechnungen			
4	Meßfahrten zum Training des Personals (Störfall-meßprogramm)		16 ausgewählte Orte in den Zonen und Sektoren in der Umgebung des KfK	monatliche Meßfahrten zu wechselnden Probe-nahme- bzw. Meßorten
4.1	γ-Ortsdosis	γ-Ortsdosisleistung		
4.2	Bodenoberfläche	Gesamt-β-Aktivitätskonzentration		
4.3	Aerosole	Gesamt-β-Aktivitätskonzentration		
4.4	Radioiod	I-131-Aktivitätskonzentration		
4.5	γ-Spektrometrie			

Tab. 5/14: Fortsetzung

Meßstellengruppe	An-zahl der Meß-stellen	Dosis in mSv					
		November 84 - November 85			November 85 - Oktober 86		
		Mittel-wert	Maxi-mum	Mini-mum	Mittel-wert	Maxi-mum	Mini-mum
Grenze des betrieblichen Überwachungsbereichs des KfK	45	0,63	0,70	0,57	0,67	0,73	0,61
Betriebsgelände des KfK (Raster)	40	1,3	13	0,60	1,1	13	0,60
Südzaun WAK	5	-	-	-	0,35*	0,36*	0,35*
Geländezaun der HDB	20	1,6	6,0	0,70	3,1	15	0,70*
Westzaun HDB	13	0,80	1,2	0,70	1,2	4,9	0,74
Unmittelbare Umgebung des Zwischenlagers der LAW-Endabfälle Geb. 519+526	8	0,91	2,7	0,73	1,1	1,8	0,89
Zählrohraußenstationen	8	0,67	0,72	0,61	0,71	0,76	0,65
Umgebungsdosimeter	38	-	-	-	0,40*	0,48*	0,36*

\*Halbjahresdosis: Expositionszeitraum April 1986 - Oktober 1986

Tab. 5/15: Mittelwerte und Streubereiche der mit Thermolumineszenzdosimetern gemessenen Dosiswerte

Überwachtes Medium	Nuklid/Nuklidgruppe	1985	1986
Aerosole		mBq/m <sup>3</sup>	mBq/m <sup>3</sup>
	α	< 0,041	< 0,094
	β	0,93	400
	Be-7	2,9	3,2
	Ru-103	-	15
	Ru/Rh-106	-	5,1
	I-131	-	8,8
	Te-129m	-	16
	Cs-134	-	8,4
Cs-137	0,13	18	
Radon*	Rn-222	-	8 500
Gasförmiges Iod	I-131	< 1,8	47
Niederschlag*		Bq/l	Bq/l
	H-3	-	22
	Be-7	-	1,3
	Ru-103	-	2,3
	Ru/Rh-106	-	1,9
	I-131	-	0,27
	Te-129m	-	1,2
	Cs-134	-	0,28
Cs-137	-	2,9	

\* wurde erst ab April 1986 gemessen

Tab. 5/16: Mittlere Luft- und Niederschlagsaktivität

Überwachtes Medium	Nuklid/Nuklidgruppe	1985	1986
Boden	$\alpha$	Bq/kg TS 310	Bq/kg TS 210
	$\beta$	920	4100
	Ru-103	-	5,8
	Cs-134	-	24
	Cs-137	21	55
Bewuchs Hauptausbreitungs- sektoren	Rest- $\beta$	Bq/kg FS <14	Bq/kg FS 240
	Be-7	23	41
	K-40	39	230
	Ru-103	-	58
	Ru/Rh-106	-	33
	I-131	-	2,1
	Te-129m	-	9,4
	Cs-134	-	50
Cs-137	-	100	
Aussiedlerhöfe	H-3	-	9
Schlamm Altrhein, 400 m unter- halb der Abwasserein- leitung	$\alpha$	Bq/kg TS 0,48	Bq/kg TS 0,43
	$\beta$	1,3	2,0
	Be-7	120	<18
	K-40	160	320
	Ru-103	-	56
	Ru/Rh-106	-	180
	I-131	-	7,2
	Te-129m	-	72
	Cs-134	-	170
	Cs-137	25	420
	Pu-238	14	2,6
	Pu-239 + 240	18	3,4
	Pb-210	-	55
Altrhein, oberhalb der Abwassereinleitung	$\alpha$	0,35	0,36
	$\beta$	0,80	1,3
Hirschkanal	$\alpha$	0,61	0,36
	$\beta$	2,0	3,1
	Be-7	140	260
	K-40	540	430
	Ru-103	-	160
	Ru/Rh-106	7,1	710
	I-131	-	11
	Cs-134	12	510
	Cs-137	570	1500
	Am-241	1600	29

Tab. 5/17: Maximale Aktivitätskonzentration im biologischen Material

Überwachtes Medium	Nuklid/Nuklidgruppe	1985 Bq/kg FS	1986 Bq/kg FS
pflanzliche Nahrungs- mittel Hauptwindrichtungen Blattgemüse	H-3	-	12
	Rest-β	<34	<38
	Be-7	1,3	<4,8
	K-40	90	100
	Ru-103	-	0,10
	Cs-134	-	0,18
	Cs-137	-	0,51
Wurzelgemüse	H-3	-	9,0
	Rest-β	<20	<46
	Be-7	-	<0,35
	K-40	50	120
	Ru-103	-	0,13
	Cs-134	-	0,45
	Cs-137	-	2,5
Getreide	H-3	-	6,4
	Rest-β	<47	<59
	Be-7	1,6	2,3
	K-40	120	140
	Ru-103	-	0,18
	Ag-110m	-	0,078
	Cs-134	-	26
	Cs-137	-	55
Aussiedlerhöfe Blattgemüse Wurzelgemüse Getreide	H-3	-	12
	H-3	-	11
	H-3	-	8,2
Fisch	Rest-β	<46	<36
	K-40	120	92
	Cs-134	-	0,063
	Cs-137	1,5	1,0
	Sr-90	0,13	<0,031
	Pb-210	-	0,073
Milch Aussiedlerhöfe	H-3	-	31

Tab. 5/18: Maximale Aktivitätskonzentration in Nahrungsmitteln

Überwachtes Medium	Nuklid/Nuklidgruppe	1985 Bq/l	1986 Bq/l
Oberflächenwasser Älrhein, 400 m unterhalb der Abwassereinleitung	H-3	6600	6200
	α	-	0,14
	β	<0,022	0,24
	Ru-103	-	0,31
	Ru/Rh-106	-	0,24
	Cs-134	-	0,12
	Cs-137	-	0,24
Hirschkanal	H-3	15	13
	α	$6,8 \cdot 10^{-5}$	<0,074
	β	0,045	1,7
	Ru-103	-	0,0017
Baggerseen	H-3	-	550
Grund- und Trinkwasser Wasserwerke, Schluckbrunnen	H-3	21	20
	α	<0,060	0,10
	β	0,13	0,089
Aussiedlerhöfe	H-3	-	150
	α	-	<0,060
	β	-	<0,020

Tab. 5/19: Maximale Aktivitätskonzentration von Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser

5.1.4 Spektrometrische Untersuchungen

H. Fessler, F. Milbich-Münzer, A. Radziwill

Die Vielkanalanalysator-Anlage der Gruppe Spektrometrie wurde im Jahr 1986 um einen zweiten ND-66-Vielkanalanalysator erweitert und für die Messung der in der folgenden Tab. 5/20 aufgeführten Proben eingesetzt. Ferner mußten zwei koaxiale Ge-Li-Detektoren durch koaxiale Reinstgermanium-Detektoren mit besserer relativer Nachweiswahrscheinlichkeit ersetzt werden, deren wichtigste Kalibrierungen noch im Jahr 1986 durchgeführt wurden.

Meßgut	Meßmethode	Anzahl der Proben	eingesetzte Detektoren
Messungen für Emissionsüberwachung			
Abluftfilter aufgearbeitet	α-Spektrometrie	85	Silizium-Sperrschichtdetektoren
Endbeckenmischproben	γ-Spektrometrie	65	koaxiale Germaniumdetektoren
	α-Spektrometrie	14	Silizium-Sperrschichtdetektoren
Aktivkohleproben (Abluftüberwachung)	γ-Spektrometrie	1321	koaxiale Germaniumdetektoren
	γ-Spektrometrie und Röntgen-Spektrometrie	724	planare Germaniumdetektoren
Abluftfilter direkt gemessen	γ-Spektrometrie	235	koaxiale Germaniumdetektoren
	γ-Spektrometrie und Röntgen-Spektrometrie	33	planare Germaniumdetektoren
	α + β-Bruttomessung	1630	Pseudokoinzidenzanlage
Abluftfilter, Monatsmischproben	γ-Spektrometrie	12	koaxiale Germaniumdetektoren
Messungen für Umgebungsüberwachung			
Aerosol- und Iodfilter aus Meßhütten	γ-Spektrometrie	69	koaxiale Germaniumdetektoren
	α-Spektrometrie	41	Silizium-Sperrschichtdetektoren
Boden-, Schlamm- und biologische Proben	γ-Spektrometrie	82	koaxiale Germaniumdetektoren
	α-Spektrometrie	6	Silizium-Sperrschichtdetektoren
Messungen für Forschungsprogramme, Auftragsmessungen etc.			
Proben aus Forschungsbereich, Auftragsmessungen etc.	γ-Spektrometrie	367	koaxiale Germaniumdetektoren
	γ-Spektrometrie und Röntgen-Spektrometrie	389	planare Germaniumdetektoren
	α-Spektrometrie	745	Silizium-Sperrschichtdetektoren
Sonderproben anlässlich Tschernobyl-Unfall	γ-Spektrometrie	1653	koaxiale Germaniumdetektoren
	α-Spektrometrie	4	Silizium-Sperrschichtdetektoren

Tab. 5/20: Spektrometrische Messungen 1986

5.1.5 Routinearbeiten der Gruppe "Radiochemie"

H. Schüttelkopf, H. Bailer, K. Bender, S. Erat, P. Perchio, W. Wünschel

Die Arbeiten der Gruppe Radiochemie umfassen radiochemische Low-level-Bestimmungen für die Abluft-, Abwasser- und Umgebungsüberwachung des KfK, Auftragsarbeiten für kerntechnische Anlagen sowie radiochemische Entwicklungsarbeiten (Tab. 5/21). Im Rahmen der routinemäßigen Umgebungsüberwachung des KfK und der WAK wurden die Radionuklide Pu-238, Pu-239 + 240, Pu-241, Am-241, Cm-242, Cm-244, Sr-89, Sr-90, Pb-210 und K-40 erfaßt. Bestimmt werden die genannten Radionuklide in verschiedenen Probematerialien wie Aerosolfilter, Pflanzen, Boden, Sedimenten, Fischen, Lebensmittel und Wasser. Für die HTO-Messungen in Abluftsystemen des KfK erfolgt die Bereitstellung der Molekularsiebpatronen und deren Aufbereitung zur Messung im LSC. Durchgeführte Routinearbeiten der Gruppe "Radiochemie" waren weiterhin die Herstellung von Kalibrierstandards und die Bereitstellung der benötigten radioaktiven Stoffe für den Routine- und Forschungsbetrieb der HS/R. Als Auftragsarbeiten, teils bezahlt, wurden 1986 folgende Analysen durchgeführt:

- Monatliche Sr-89/90- und Pu-Analysen sowie  $\alpha$ -Bruttomessungen in Abwasserproben der Kernkraftwerke Obrigheim und Neckarwestheim.
- Monatliche  $\alpha$ - $\beta$ -Bruttomessungen an Aerosolfiltern der Uranerzgrube Großschloppen der Saarberg Interplan Uran GmbH.
- Monatliche Aktinidenanalysen an Aerosolfiltern der WAK.
- Umfangreiche I-131-, Sr-89/90- und Pu-Analysen nach dem Tschernobyl-Unfall.
- Pu-Analysen an Waschwasserproben, außerdem an Boden, Moos und Nadeln für die Alkem GmbH.
- H-3-Messungen für HDB an Molekularsieben.
- I-131-Messungen für Engler-Bunte-Institut, Karlsruhe.

Tätigkeitsgebiet	Art der Arbeiten	Anzahl
Umgebungsüberwachung	Pu-238, Pu-239 + 240	60
	Sr-89, Sr-90	18
	K-40	8
	Pb-210	11
Abwasserüberwachung	Pu-238, Pu-239 + 240	11
	Sr-89, Sr-90	34
	Pu-241	10
	$\alpha$ - $\beta$ -Bruttomessung	8
Abluftüberwachung	HTO-Patronen	613
	Pu-238, Pu-239 + 240	19
	Sr-89, Sr-90	9
	Am-241, Cm-242, Cm-244	18
	Pu-241	21
	I-129	7
Kontrollanalysen, Kalibrierstandards	K-40, Sr-89, Sr-90, I-131, Pu-, Am- und Ra-Analysen	207

Tab. 5/21: Routinearbeiten der Gruppe "Radiochemie"

## 5.2 Ergebnisse radioökologischer Forschungsarbeiten

### 5.2.1 Tritiumkonzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln aus den Hauptausbreitungssektoren

S. Strack, G. Pagliosa

1986 wurden die Messungen der Tritiumkonzentrationen im eßbaren Anteil von pflanzlichen Nahrungsmitteln aus den beiden Hauptausbreitungssektoren in der Umgebung des KfK fortgesetzt. Gemessen wurde die Tritiumaktivität im freien Wasser der Proben, das durch Gefriertrocknung verfügbar ist (HTO), und in der organischen Trockensubstanz (OBT), indem die Tritiumaktivität nach Plasmaveraschung der wasserfreien Proben im Oxidationswasser bestimmt wurde. Aus beiden Konzentrationen, die in mBq/g angegeben werden, wird die Tritiumaktivität pro kg Frischsubstanz bestimmt. Der Anteil des organisch gebundenen Tritiums wird dabei mit Hilfe des Umrechnungsfaktors  $f$  berechnet. Dieser ergibt sich aus der entstehenden Menge an Oxidationswasser in Gramm dividiert durch die Menge an oxidiertem Trockensubstanz in Gramm. Die Ergebnisse für den 1. Hauptausbreitungssektor (Raum Friedrichstal) und für den 2. Hauptausbreitungssektor (Raum Eggenstein-Leopoldshafen) sind in Tab. 5/22 zusammengestellt.

Die gemessenen HTO-Konzentrationen sind im Vergleich zu der nach der Strahlenschutzverordnung zulässigen Tritiumkonzentration für Trinkwasser von 7 400 Bq/kg niedrig. Sie liegen weit unterhalb von 1 % dieses Wertes (74 Bq/kg) und sind somit unter dem Aspekt des Strahlenschutzes ohne Relevanz. Der Medianwert der HTO-Konzentration aller Proben aus dem Raum Friedrichstal liegt bei 5,6 mBq/g, aus dem Raum Eggenstein-Leopoldshafen bei 6,1 mBq/g. Bei dem Verfahren wird bei einer Meßzeit von 100 Minuten eine Nachweisgrenze von 4,8 mBq/ml erreicht, bei einer Meßzeit von 500 Minuten 1,9 mBq/g.

Die Konzentration des organisch gebundenen Tritiums (OBT) liegt in allen Proben über der Konzentration von HTO. Die Medianwerte für OBT betragen im ersten und zweiten Ausbreitungssektor 7,8 bzw. 10,2 mBq/g. Gegenüber dem wassergebundenen ist der Anteil des organisch gebundenen Wasserstoffs in pflanzlichen Nahrungsmitteln in der Regel nur etwa 10 % des gesamten Wasserstoffs. Deshalb sind auch diese Werte für den Strahlenschutz nicht relevant, jedoch von radioökologischem Interesse.

Zusätzlich zu den Nahrungsmitteln wurden jeweils entsprechende Bodenproben auf den Tritiumgehalt untersucht sowie die Tritiumkonzentration in der kondensierten Luftfeuchtigkeit zum Zeitpunkt der Probenentnahme bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tab. 5/23 wiedergegeben. Es lassen sich keine signifikanten Abweichungen zwischen HTO-Konzentrationen in den Nahrungsmitteln und den Tritiumkonzentrationen in den gleichzeitig entnommenen Bodenproben erkennen, da die Meßwerte zu dicht an der Nachweisgrenze liegen.

Pflanzliche Nahrungsmittel	1. Hauptausbreitungssektor (Raum Friedrichstal)					2. Hauptausbreitungssektor (Raum Eggenstein-Leopoldshafen)				
	Probenahmedatum 1986	Wassergehalt in %	spezifische H-3-Konzentration in mBq/g		H-3-Konzentration in Bq/kg FS*	Probenahmedatum 1986	Wassergehalt in %	spezifische H-3-Konzentration in mBq/g		H-3-Konzentration in Bq/kg FS*
			HTO	OBT				HTO	OBT	
Getreide: - Weizen (Körner)	31.07.	13	7,3±2,3	7,9±2,3	4,8±2,3	31.07.	13	6,7±2,2	11,3±2,1	6,4±2,2
Blattgemüse: - Kopfsalat	19.06.	95	7,5±4,6	10±6	7,4±4,6	26.06.	94	12,2±2,3	12,9±2,2	11,9±2,3
- Feldsalat	04.12.	86	6,1±2,1	10,9±2,2	6,1±2,1	04.12.	88	7,7±2,3	10,8±2,3	7,5±2,3
Kohlgemüse: - Weißkohl	23.09.	91	5,6±2,0	7,7±2,0	5,5±2,0	24.09.	94	3,8±2,2	12,0±2,3	3,5±2,2
- Wirsingkohl	23.09.	90	3,5±2,0	5,5±2,0	3,5±2,0	24.09.	93	5,3±2,3	9,0±2,3	5,3±2,3
- Rosenkohl (Rosen)	04.12.	84	4,0±2,2	6,4±2,2	3,9±2,2	04.12.	84	5,7±2,2	5,8±2,1	5,3±2,2
Wurzel- und Knollengemüse: - Möhren	19.06.	90	< NWG	5,6±4,4	< NWG	26.06.	88	6,3±2,0	15,8±2,2	6,6±2,0
- Rettiche	19.06.	93	5,6±4,3	7,3±4,5	5,5±4,3	26.06.	95	5,6±4,4	10,2±4,6	5,6±4,4
- Rote Rüben	23.09.	88	2,7±1,9	6,2±2,1	2,8±1,9	24.09.	89	3,3±2,2	7,2±2,0	3,4±2,2
- Kartoffeln	23.09.	81	5,2±2,0	9,1±2,1	5,2±2,0	24.09.	79	5,8±2,2	8,9±2,2	5,6±2,2
Ausdauernde Gemüse: - Spargeln	19.06.	92	6,3±4,4	9,5±4,5	6,2±4,4	13.06.	91	8,6±4,5	8,9±4,5	8,3±4,5
Obst: - Erdbeeren	19.06.	89	9,2±4,6	11,0±4,6	8,9±4,6	26.06.	91	12,7±5,1	15,0±2,5	12,3±5,1
- Äpfel	23.09.	79	5,5±4,8	9,9±2,1	5,5±4,8	24.09.	84	6,7±2,0	10,2±2,1	6,5±2,0
Medianwerte			5,6	7,8	5,3			6,1	10,2	6,0

\*FS: Frischsubstanz

Tab. 5/22: Tritiumkonzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln aus dem 1. und 2. Hauptausbreitungssektor in der Umgebung des KfK (2-σ-Fehler mit Fehlerfortpflanzung)

Bodenproben, die mit folgenden pflanzlichen Nahrungsmitteln entnommen wurden:	1. Hauptausbreitungssektor (Raum Friedrichstal)			2. Hauptausbreitungssektor (Raum Eggenstein-Leopoldshafen)		
	Probenahmedatum 1986	H-3-Konzentration der Bodenproben in mBq/g	H-3-Konzentration der kondensierten Luftfeuchte in mBq/g	Probenahmedatum 1986	H-3-Konzentration der kondensierten Luftfeuchte in mBq/g	H-3-Konzentration der Bodenproben in mBq/g
Kopfsalat	19.06.	7,1±4,6	< NWG	26.06.	26±5	8,5±2,2
Feldsalat	04.12.	6,3±2,0	15,5±2,5	05.12.	6,5±2,0	5,5±2,3
Weißkohl	23.09.	2,9±1,9	4,9±2,0	24.09.	8,5±2,0	3,8±1,9
Wirsingkohl	23.09.	2,9±1,9	4,9±2,0	24.09.	8,5±2,0	3,5±2,0
Rosenkohl (Rosen)	04.12.	6,3±2,0	15,5±2,5	05.12.	6,5±2,0	5,5±2,3
Möhren	19.06.	7,1±4,6	< NWG	26.06.	26±5	8,5±2,2
Rettiche	19.06.	7,6±4,4	< NWG	26.06.	26±5	8,5±2,2
Rote Rüben	23.09.	2,9±1,9	4,9±2,0	24.09.	8,5±2,0	3,5±2,0
Kartoffeln	23.09.	3,3±1,9	4,9±2,0	24.09.	8,5±2,0	3,8±1,9
Spargel	19.06.	7,5±4,5	< NWG	13.06.	9,3±4,6	7,4±4,5
Erdbeeren	19.06.	7,6±4,4	< NWG	26.06.	26±5	6,2±2,2
Äpfel	23.09.	4,2±2,0	4,9±2,0	24.09.	8,5±2,0	3,5±2,0

Tab. 5/23: Tritiumkonzentrationen im Wasser von Bodenproben sowie in der kondensierten Luftfeuchte, die mit den pflanzlichen Nahrungsmitteln aus den beiden Hauptausbreitungssektoren in der Umgebung des KfK entnommen wurden (NWG = Wert liegt unterhalb der Nachweisgrenze von 4,8 mBq/ml bei 100 min Meßzeit bzw. 1,9 mBq/g bei 500 min Meßzeit)

### 5.2.2 Modellierung des Verhaltens von Tritium in Pflanzen

S. Strack

Abschätzungen der Ingestionsdosis von tritiumkontaminierten Nahrungsmitteln nach der Strahlenschutzverordnung basieren auf dem Konzept des "spezifischen Aktivitätsmodells", wie es in den Allgemeinen Berechnungsgrundlagen (Bundesminister des Innern, 1979) enthalten ist. Entsprechend dieser Modellvorstellung wird angenommen, daß das Verhältnis von Tritium zum gesamten stabilen Wasserstoff in den Pflanzen dem in der bodennahen Luftfeuchtigkeit entspricht. Zur Überprüfung der Gültigkeit dieses Modells werden die Daten mehrjähriger Meßreihen von Tritiumkonzentrationen in landwirtschaftlichen Produkten aus den beiden Hauptausbreitungssektoren und einer systematischen Langzeitstudie an einer Buche im KfK ausgewertet.

Ein Vergleich der mittleren Konzentrationen in den landwirtschaftlichen Produkten mit berechneten Werten, wobei unter Verwendung von Langzeitausbreitungsfaktoren für quasikontinuierliche Abgaben die Emissionsraten des Hauptemittenten zugrunde gelegt wurden, zeigt für die einzelnen Jahre eine recht gute Übereinstimmung in Bezug auf die Konzentrationen im Gewebewasser der Pflanzen (HTO).

Die Medianwerte der Tritiumkonzentrationen in der organischen Trockensubstanz (OBT) liegen hingegen stets darüber (Abb. 5/3). Der Anteil des organisch gebundenen Wasserstoffs beträgt gegenüber dem wassergebundenem in der Regel jedoch nur 5 - 10 %, so daß man insgesamt mit Hilfe des "spezifischen Aktivitätsmodells" zu realistischen Werten kommt.

Zur Erklärung der Tritiumkonzentrationen in einzelnen pflanzlichen Proben, die in der Umgebung von kerntechnischen Anlagen entnommen werden, ist das "spezifische Aktivitätsmodell" jedoch nicht geeignet. Hierfür, wie auch zur Abschätzung der Folgen im Falle einer Abgabe von HTO nach einem Unfall, ist ein differenziertes dynamisches Modell notwendig, das die tatsächlichen Gegebenheiten berücksichtigt (Literaturzit. Strack, Nov. 1986).

Abb. 5/3 zeigt die berechneten Tritiumkonzentrationen in der Luftfeuchtigkeit im Vergleich zu den Medianwerten der gemessenen Konzentrationen in den Pflanzen aus den beiden Hauptausbreitungssektoren Friedrichstal und Eggenstein-Leopoldshafen.

### 5.2.3 Radioökologische Untersuchungen in der Umgebung des Rheinniederungskanaals

S. Strack, G. Pagliosa

Die monatlichen Messungen von Wasser-, Milch-, Grünfütter- und Silofütterproben aus dem Kuhstall eines Aussiedlerhofes in der Umgebung des Rheinniederungskanaals wurden 1986 fortgesetzt. Die Ergebnisse sind in Abb. 5/4 dargestellt. Die HTO-Konzentrationen der Milch liegen im Bereich von 38 bis 88 % der HTO-Konzentrationen des Tränkenwassers bei einem Medianwert von 54 %. Bei der Streuung muß beachtet werden, daß die Kühe Wasser in unterschiedlicher Menge mit dem Grünfütter bzw. während der Wintermonate mit der Silage bekommen. Die OBT-Werte liegen alle unterhalb der HTO-Werte, allerdings immer relativ dicht beieinander, dies obwohl die Kühe mit dem Grünfütter organisch gebundenes Tritium nur in sehr geringer Konzentration zugeführt bekommen. Darin zeigt sich, daß die organischen Bestandteile, wie sie in der Milch vorliegen, in vielen Stoffwechselschritten auf dem Wege von den Mägen über das Blut zu den Milchdrüsen stark verändert bzw. neu synthetisiert werden, wobei der organisch gebundene Wasserstoff weitgehend durch den Wasserstoff des umgebenden Wassers ersetzt wird.

Weiteren Aufschluß über das Verhalten von Tritium in den Fischen des KfK-Vorfluters ergaben Ergebnisse eines Experimentes vom Juli 1986. Zahlreiche Fische (Rotaugen, *Rutilus rutilus*) wurden im Altrhein in der Nähe der Einleitungsstelle gefangen und anschließend für vier Stunden in 50 Litern gut belüftetem Wasser mit konstanter Tritiumkonzentration und Temperatur gehalten. In verschiedenen Zeitabständen wurden jeweils drei bis vier Fische entnommen und auf die Tritiumkonzentrationen im Gewebewasser, in der gesamten Trockensubstanz sowie in der Trockensubstanz an den nichtaustauschbaren Positionen (OBT nichtaustauschbar) hin ausgemessen. Aus Abb. 5/5 ist zu erkennen, daß die Gleichgewichtskonzentration im Gewebewasser der Fische (gleichzusetzen mit der des umgebenden Wassers) nach vier Stunden annähernd erreicht ist. Das gesamte OBT erreicht in der Zeit eine spezifische Aktivität, die bei ca. 17 % der des umgebenden Wassers liegt, wovon etwa 75 % auf den austauschbaren Anteil des organisch gebundenen Tritiums entfallen. Der nicht-austauschbare Anteil des OBT streut in den einzelnen Proben um einen Mittelwert von 5100 Bq/kg. Eine vorläufige Analyse der Ergebnisse ergab, daß zur mathematischen Beschreibung der Aufnahme des HTO im Gewebewasser bis zum Erreichen des Gleichgewichtswertes eine Summe von zwei Exponential-Funktionen notwendig sind, die zwei gleich großen Kompartimenten mit unterschiedlichen Austauschraten entsprechen. Der Anstieg des austauschbaren OBT läßt sich annähernd mit einer Exponentialfunktion beschreiben, dessen Zeitkonstante im Wert etwa der schnelleren der beiden Austauschraten für das HTO entspricht.

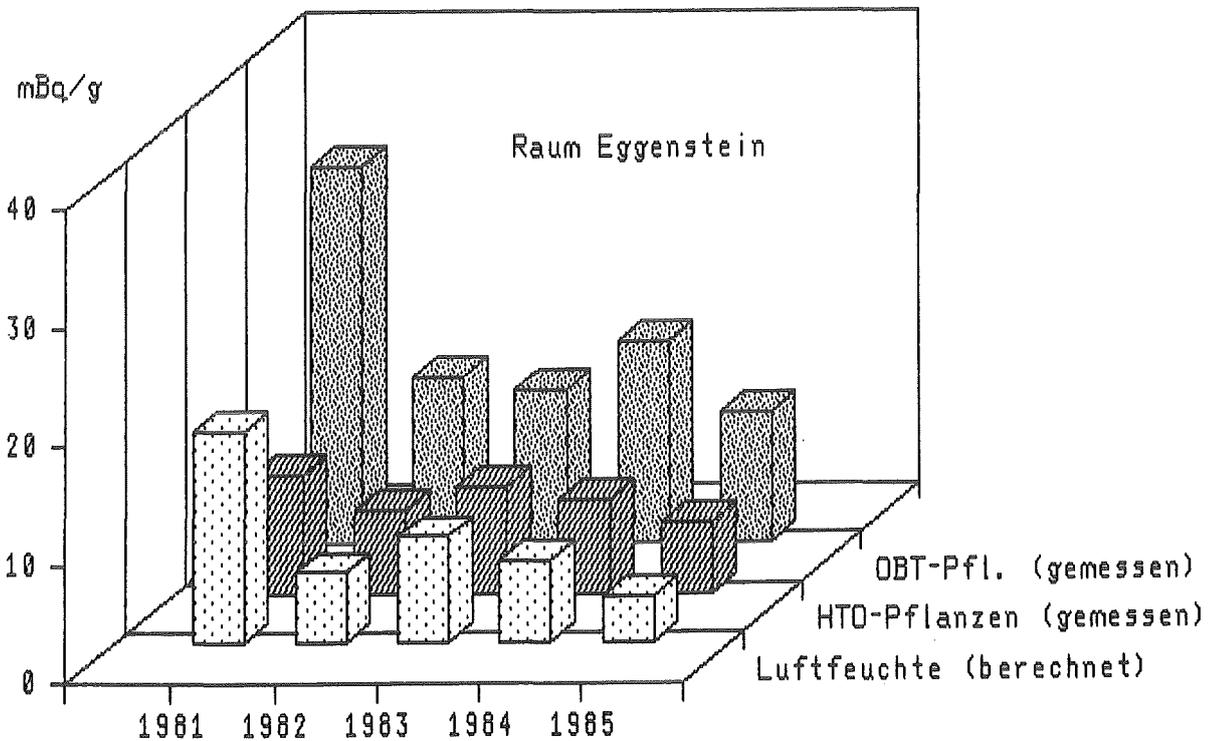
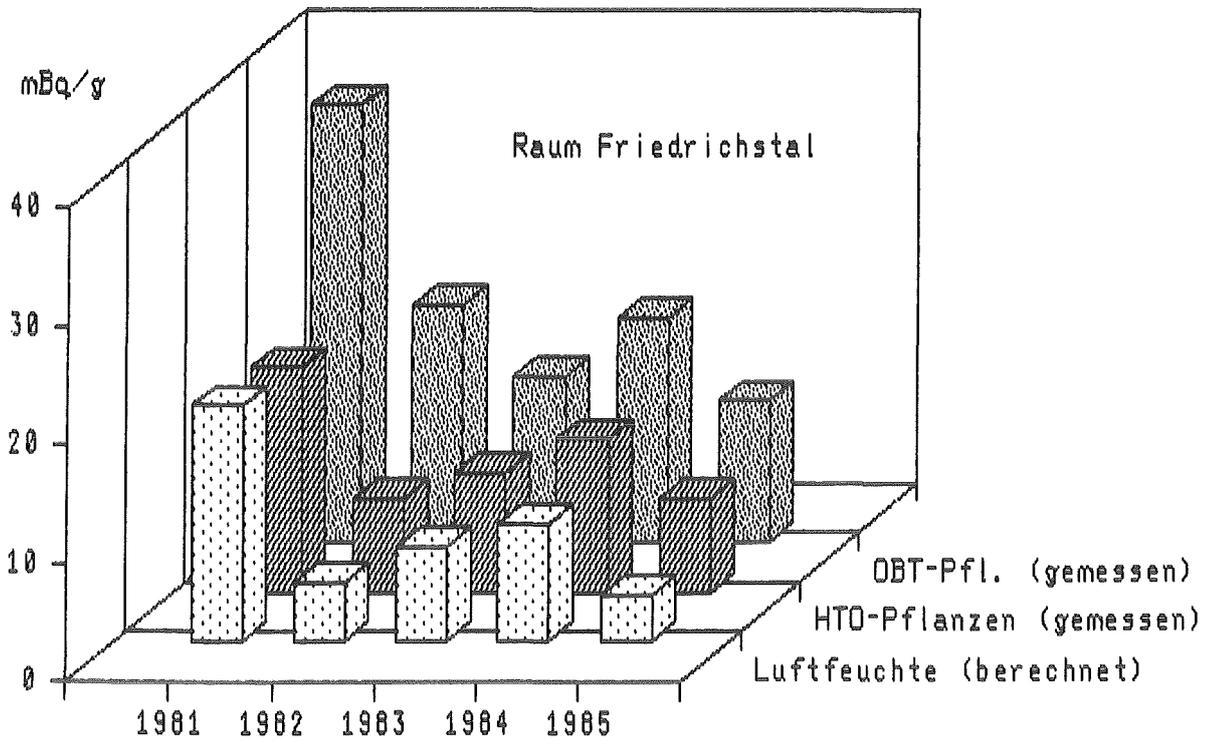


Abb. 5/3: Vergleich mittlerer Tritiumkonzentrationen im Raum Friedrichstal und Eggenstein in den Jahren 1981 bis 1985

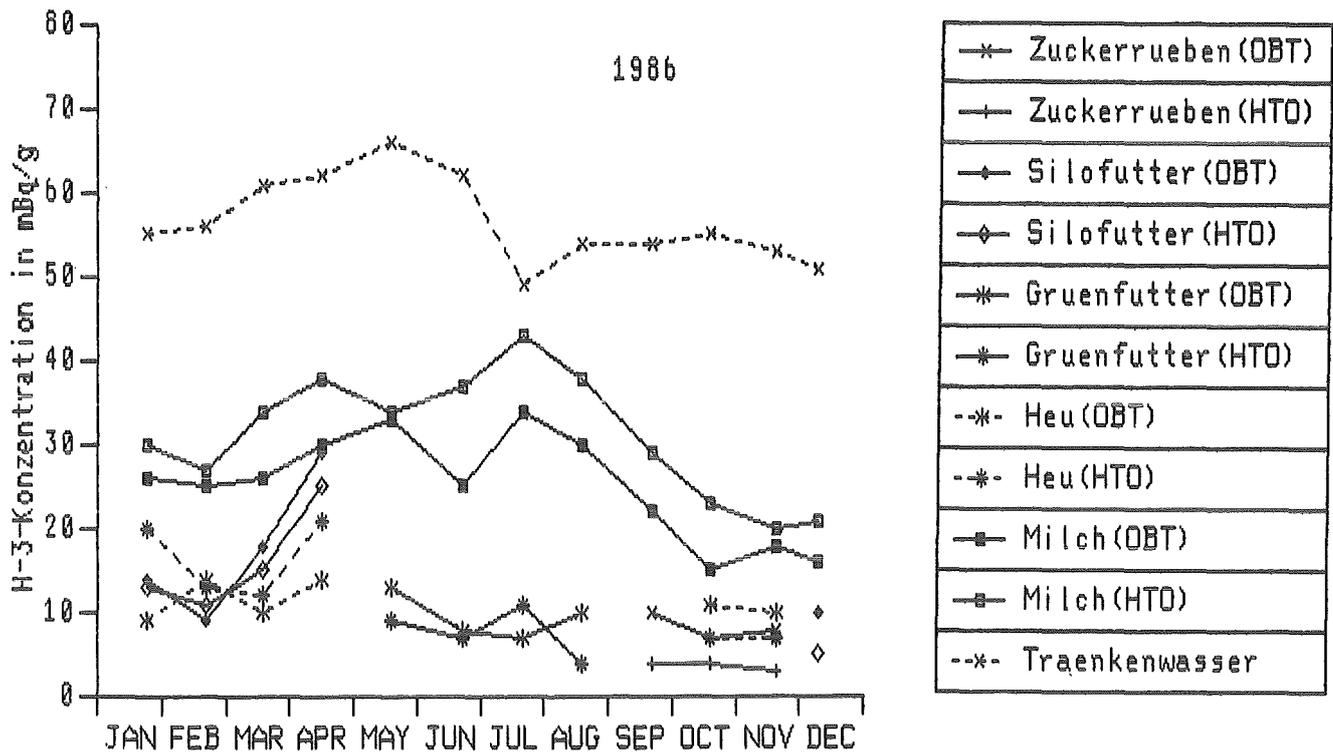


Abb. 5/4: Tritiumkonzentrationen verschiedener Proben eines landwirtschaftlichen Betriebes in der Rheinniederungsebene im Jahr 1986

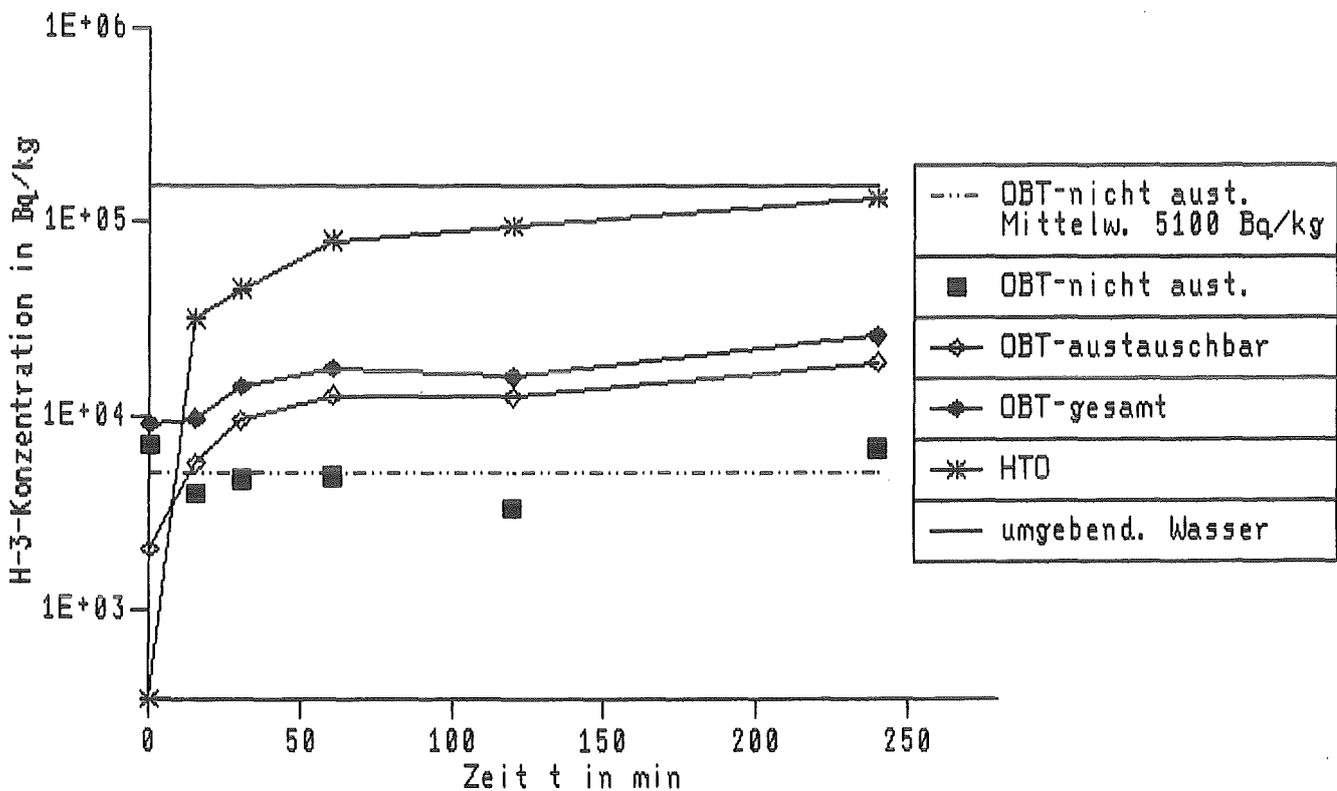


Abb. 5/5: Tritiumkonzentrationen in Fischen (Rotaugen) in Abhängigkeit von der Expositionsdauer in Bq/kg Wasser bzw. Oxidationswasser

#### 5.2.4 Verhalten von Tritium im System Luft-Boden-Pflanze

S. Diabaté, D. Honig

In Rahmen eines Forschungsprogramms, das aus Mitteln der Europäischen Gemeinschaft unterstützt wird, werden Untersuchungen zur Tritiumexposition der Umwelt durch zukünftige Fusionsanlagen durchgeführt.

Die Schwerpunkte liegen dabei auf Experimenten zum Verhalten von tritiiertem Wasserstoff (HT) im System Luft-Boden-Pflanze. Das relativ reaktionsträge und schwer wasserlösliche HT wird durch biologische Prozesse im Boden und vermutlich auch in Pflanzen in radiotoxisch höher einzustufende Verbindungen umgewandelt. In Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen entstehen tritiiertes Wasser (HTO) und organisch gebundenes Tritium (OBT), also Verbindungen, die in die Nahrungskette eintreten. Für die Beschreibung des Tritiumpfades ist es notwendig, den Einfluß verschiedener Umweltparameter auf die Umsetzungsgeschwindigkeit von HT und den Verbleib von Einzelkomponenten des organisch gebundenen Tritiums zu klären.

Im Jahr 1986 wurden Vorarbeiten für die geplante Begasung von Nutzpflanzen mit HT durchgeführt. So wurde eine Klimakammer, in der die wichtigsten Umweltparameter simuliert werden können, in Betrieb genommen und für Experimente vorbereitet. Die Aufarbeitungsmethoden für anfallende Proben wurde festgelegt und mit tritiiertem Pflanzenmaterial getestet. Die Probe wird nach der Entnahme möglichst schnell eingefroren. Freies Gewebewasser wird durch Gefriertrocknung entzogen, das Sublimationswasser kann in einer Kühlfalle zurückgehalten und im Flüssigszintillationsspektrographen gemessen werden. Gesamt-OBT wird durch Oxidation des trockenen Materials in einem Verbrennungsautomaten und Tritiumanalyse des entstandenen HTO bestimmt. Die biologisch relevanten Komponenten der organischen Substanz (Protein, Fette, Kohlenhydrate, Nukleinsäuren) werden mit Hilfe biochemischer Arbeitsmethoden, die im vergangenen Jahr überarbeitet und verbessert wurden, aus dem Trockenmaterial gewonnen.

Zur getrennten Analyse von HTO und HT in der Luft wurde ein Sammelgerät entwickelt, optimiert und mit Tritiumgas kalibriert. Luftfeuchtigkeit und HTO werden in zwei Behältern mit Molekularsieb 3Å festgehalten. Die Oxidation von HT erfolgt beim Durchströmen eines beheizten Katalysatorbettes aus 1% Platin auf Aluminiumoxid. Das entstandene HTO wird in zwei nachgeschalteten Molekularsieben 3Å adsorbiert. Um die Verluste von HTO bei der Desorption gering zu halten, werden 0,1 Vol % Wasserstoff als Trägergas zugemischt. Die Tritiumanalyse erfolgt durch Austausch der Molekularsiebproben mit inaktivem Wasser und Messung im Flüssigszintillationszähler. Als optimale Katalysatortemperatur wurden 150°C ermittelt. Die Durchflußrate, die einen starken Einfluß auf die Oxidationsrate von HT und damit auf den Wirkungsgrad hat, wurde auf 60 l/h festgelegt. Unter diesen anlagenspezifischen Bedingungen wird bei einer 4stündigen Sammeldauer und einer Meßzeit von 100 min eine Nachweisgrenze von 15 Bq/m<sup>3</sup> Luft für HT und 6 Bq/m<sup>3</sup> für HTO erreicht.

### 5.2.5 Kontamination des Niederschlages durch die Tritiumemissionen in die Atmosphäre

D. Papadopoulos, L. A. König, K.-G. Langguth

#### Regenwasser

In den Jahren 1982, 1983 und 1984 wurde an einer Sammelstelle ca. 250 m nordöstlich des MZFR arbeitstäglich nach jedem Regenfall der Niederschlag gesammelt, die Regenintensität bestimmt und die Tritiumkonzentration gemessen. Die Untergrundkonzentration von Tritium im Niederschlag wurde durch Messung von Mischproben, gesammelt an der Referenzstelle Augustenberg (ca. 12 km südöstlich des KfK) bestimmt.

Aus den gemessenen Regenintensitäten und Tritiumkonzentrationen für die 104, 104 und 112 Regenperioden der Jahre 1982, 1983 und 1984 wurden die Tritiumflächenbelastungen bestimmt. Außerdem wurde für jede der 320 Regenperioden die Bodenbelastung aus den Tritiumemissionen der Hauptemittenten des KfK und den meteorologischen Daten der entsprechenden Regenperioden berechnet. Die Berechnung basiert auf den Gleichungen:

$$B_i = A \frac{N}{2\pi X} \sum_{jmt} q_{ijmt} \frac{\Delta_t}{u_{jm}} \quad (1)$$

$$\Delta_t = s \cdot \theta \quad (2)$$

mit

- $B_i$  = Bodenbelastung (Bq/m<sup>2</sup>)
- $A$  = emittierte Aktivität (Bq)
- $N$  = Zahl der Windrichtungssektoren
- $X$  = Abstand der Sammelstelle vom Emittenten (m)
- $q_{ijmt}$  = Niederschlagshäufigkeit (i: Sektor der Windrichtung; j: Diffusionskategorie; m: Windgeschwindigkeitsstufe; t: Niederschlagsintensitätsstufe)
- $u_{jm}$  = Mittlere Windgeschwindigkeitsstufe (M/s)
- $\Delta_t$  = Washout-Konstante (s<sup>-1</sup>)
- $s$  = Proportionalitätskonstante (a·mm<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>)
- $\theta$  = Niederschlagsintensität (mm·a<sup>-1</sup>).

Außer  $s$  sind alle Größen durch Messung bekannt. Für die Proportionalitätskonstante wurde  $s = 3 \cdot 10^{-9}$  a·mm<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup> angenommen. Die Berechnung wurde mit dem ISOLA-III-Computer-Programm (KfK-2698 (1978)) durchgeführt.

Der Vergleich der gemessenen mit den berechneten Bodenbelastungen ergab:

- Die Jahressumme aller mit den täglichen meteorologischen Daten berechneten Bodenbelastungen stimmt gut überein mit der jährlichen Bodenbelastung, berechnet mit der Jahresstatistik (bei einer annähernd konstanten Emissionsstärke)
- Die Summe aller gemessenen Bodenbelastungen eines Jahres und die entsprechenden Rechenergebnisse stimmen gut überein.
- Das Modell (Gleichung (1) und (2)) und die Annahme  $s = 3 \cdot 10^{-9} \text{ a} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  sind befriedigend.

Diese Arbeit wurde im Rahmen des vom BMI geförderten Programmes St.Sch.924 durchgeführt

### Schneewasser

In der Zeit vom 4. bis 16. Januar 1985 wurden an 33 Sammelstellen im und um das KfK Schneeproben gesammelt, die Niederschlagsintensität bestimmt und die Tritiumkonzentration gemessen. Die Schneeproben wurden sowohl unmittelbar nach Schneefall als auch in Perioden ohne Schneefall gesammelt. Gesammelt wurde der frisch gefallene Schnee von der Oberfläche, wie auch Mischproben aus der gesamten, vorliegenden Schneedecke. In dieser Zeit emittierte der Hauptemittent MZFR ca. 50 GBq/d.

Die Messung der Tritiumkonzentrationen haben folgendes gezeigt:

- Bei ähnlichen Ausbreitungsverhältnissen und gleichen Emissionsstärken ist die Tritiumkonzentration im Schneewasser in erster Näherung gleich der Tritiumkonzentration im Regenwasser, wie aus dem Vergleich mit früheren Messungen (Annales de l'Association Belge de Radioprotection, Vol 7, Nr. 3, 4, S. 129 (1982)) hervorgeht.
- Während der Zeiten ohne Schneefall wurden keine signifikanten Änderungen der Tritiumkonzentration in der Schneeoberfläche, wie auch in der gesamten Schneedecke festgestellt.

#### 5.2.6 Berechnungen der C-14- und Kr-85-Konzentrationen in der bodennahen Luft während der Auflösungen der abgebrannten Brennelemente in der WAK

D. Papadopoulos, L. A. König

Während der Auflösungsarbeiten in der WAK wird über den 60 m hohen Kamin der Anlage C-14 und Kr-85 mit der Abluft in die Atmosphäre abgegeben. In Zusammenarbeit mit dem "Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg" und dem "Bundesamt für Zivilschutz, Meßstelle Freiburg" wurden drei Orte für die Einrichtung von kontinuierlichen Luftprobenahmen ausgesucht. Diese Probenahmestellen liegen nordöstlich der WAK in Abständen von ca. 300 m bis 5100 m.

Die Messung der mittleren C-14-Aktivitätskonzentration in den wöchentlichen Mischproben führt das "Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg", die Kr-85-Messungen das "Bundesamt für Zivilschutz, Meßstelle Freiburg" durch. Parallel zu diesen Messungen werden Berechnungen der mittleren Aktivitätskonzentrationen von HS/R nach den Ausbreitungsmodellen durchgeführt. Die Berechnungen basieren auf den Emissionsdaten der WAK und auf den meteorologischen Daten des IMK. Für jede halbstündige Zeitperiode eines Auflösungsvorganges der WAK werden die bodennahen Aktivitätskonzentrationen von C-14 und Kr-85 durch das Rechenprogramm ISOLA-IV (KfK-4146(1986)) berechnet.

Aus diesen Aktivitätskonzentrationswerten und den Durchflußdaten der Probenahmeeinrichtungen wird die erwartete C-14- und Kr-85 Aktivität der kontinuierlich während einer Woche gesammelten Proben berechnet. Für die ersten 40 Auflösungsvorgänge der WAK nach der Erstellung der Probenahmestellen sind die Berechnungen abgeschlossen. Der Vergleich der Meß- mit den Rechenergebnissen für die Überprüfung der Rechenmodelle ist nach dem Abschluß der Messungen vorgesehen.

### 5.2.7 Untersuchungen zum Boden-Pflanzen-Transfer von Np, Pu, Am und Cm

M. Pimpl, W. Schmidt, K. Gamer, G. Hefner, T. Sollich

Die im Mai 1983 begonnenen Messungen des Boden-Pflanzen-Transfers von Np-237, Pu-238, Am-241 und Cm-244 wurden 1986 fortgesetzt. Im Gewächshaus wurden auf drei Böden aus dem Raum Schwandorf - einem Kreideverwitterungs-, einem Granitverwitterungs- und einem Gley-Boden - in Lysimetern Langzeitversuche zum Boden-Pflanzen-Transfer weitergeführt. Auf dem Kreide- und auf dem Granitverwitterungsboden wurde die 6. und 7. Vegetationsperiode für Weizen, Mais und Kartoffeln mit der Ernte abgeschlossen. In einem Lysimeter mit Gley-Boden wurde der Transfer in Gras weiter untersucht. Gras wurde entsprechend landwirtschaftlicher Praxis dreimal pro Vegetationsperiode geschnitten; Kartoffeln wurden nach dem vollständigen Absterben des Krautes geerntet, Weizen und Mais zum Zeitpunkt der Vollreife. Das Erntegut wurde bis 105 °C getrocknet, mit Salpetersäurezusatz bei 550 °C vollständig verascht und zur radiochemischen Analyse gebracht.

Die Konzentrationen an Np-237, Pu-238, Am-241 und Cm-244 in den veraschten Pflanzenproben der ersten vier Vegetationsperioden wurden gemessen. Der Transferfaktor für jedes Nuklid wurde durch Division der gemessenen Nuklidkonzentration in der Pflanzentrockensubstanz durch die in dem jeweiligen Pflanzungsgefäß vorhandene Nuklidkonzentration in trockenem Boden berechnet. Die erhaltene Schwankungsbreite der Transferdaten für Weizen, Kartoffel, Mais und Gras ist in Tab. 5/24 zusammengefaßt. Tab. 5/25 gibt die Mittelwerte der Transferdaten wieder, die durch Auftragen der Meßwerte in einer Lognormalverteilung erhalten wurden.

Boden	Pflanze	Schwankungsbreite der Transferfaktoren · 10 <sup>5</sup>			
		Np-237	Pu-238	Am-241	Cm-244
Kreideverwitterung	Weizen (Korn)	30 - 600	0,1 - 7	0,1 - 10	0,2 - 30
	Kartoffel (Knolle)	70 - 1000	1 - 100	1 - 200	1 - 200
	Mais (ganze Pflanze)	100 - 7000	1 - 200	1 - 200	0,6 - 200
	Alle Pflanzen	30 - 7000	0,1 - 200	0,1 - 200	0,2 - 200
Granitverwitterung	Weizen (Korn)	300 - 3000	0,1 - 100	0,5 - 10	1 - 10
	Kartoffel (Knolle)	800 - 10000	1 - 200	10 - 300	8 - 200
	Mais (ganze Pflanze)	3000-30000	3 - 2000	30 - 1000	30 - 900
	Alle Pflanzen	300-30000	0,1 - 2000	0,5 - 1000	1 - 900
Gley	Gras	1000-6000	6 - 60	60 - 90	50 - 100
Alle Böden	alle Pflanzen	30-30000	0,1 - 2000	0,1 - 1000	0,2 - 900

Tab. 5/24: Niedrigste und höchste Werte der gemessenen Transferfaktoren der vier ersten Vegetationsperioden berechnet für Trockengewichte

Die Ergebnisse der 4. Vegetationsperiode bestätigen die Beobachtungen, die bereits nach den bisherigen Vegetationsperioden gemacht wurden. Von den angebaute Pflanzen zeigen Gras und Mais den höchsten Transfer aus dem Boden in die Pflanze. Geringer sind die Transferfaktoren für Kartoffelknollen und extrem niedrig für Weizenkörner. Die Größenordnung der gemessenen Daten stimmt mit den Literaturangaben gut überein.

Boden	Pflanze	Mittelwerte der Transferfaktoren · 10 <sup>5</sup>			
		Np-237	Pu-238	Am-241	Cm-244
Kreideverwitterung	Weizen (Korn)	110	2	2	2
	Kartoffel (Knolle)	360	38	56	40
	Mais (ganze Pflanze)	1200	16	20	19
	Alle Pflanzen	660	19	20	14
Granitverwitterung	Weizen (Korn)	1000	8	3	3
	Kartoffel (Knolle)	2200	43	59	49
	Mais (ganze Pflanze)	9700	120	160	140
	Alle Pflanzen	4400	59	80	68
Gley	Gras	4000	25	67	76
Alle Böden	alle Pflanzen	2600	38	49	41

Tab. 5/25: Mittelwerte der gemessenen Transferfaktoren der ersten vier Vegetationsperioden berechnet aus Lognormalverteilungen für Trockengewichte

Betrachtet man in Tab. 5/25 den mittleren Transferfaktor der einzelnen Transurane, gemittelt über alle Böden und alle Pflanzen, so ist abzulesen, daß die Wurzel Aufnahme in der Reihenfolge  $Pu < Am = Cm < Np$  ansteigt. Gegenüber Pu ist die Aufnahme von Np etwa 1 bis 2 Größenordnungen höher, während Am und Cm nur geringfügig besser pflanzenverfügbar sind als Pu. Das chemisch sehr ähnliche Verhalten von Am und Cm zeigt sich auch im Transferverhalten: Für beide Nuklide wird etwa der gleiche Transferfaktor gemessen.

Die Bodenart hat einen deutlichen Einfluß auf den Boden-Pflanzen-Transfer. Für Np wurde auf dem Granitverwitterungsboden für jede angebaute Pflanzenart ein um 1 Größenordnung höherer Transfer gemessen als auf Kreideverwitterungsboden. Das gleiche Ergebnis wurde für die Aufnahme von Pu, Am und Cm in Mais erhalten, während für diese Nuklide bei Kartoffel und Weizen kein Einfluß der Bodenart auf den Transfer beobachtet wurde.

Betrachtet man alle gemessenen Transferfaktoren für Np, Pu, Am und Cm ohne Berücksichtigung der einzelnen Böden und Pflanzen, so liegen zwischen dem niedrigsten und höchsten Wert bei jedem Nuklid 3 Größenordnungen. Zieht man in Betracht, daß bei Parallelversuchen, d. h. Aufzucht gleicher Pflanzen auf gleichem Boden unter identischen Bedingungen, die Schwankungsbreite 2 Größenordnungen betragen kann, so wird deutlich, daß die Eingrenzung des Transferfaktors auf 3 Größenordnungen den Boden-Pflanzen-Transfer für die meisten Böden und Pflanzen unter üblichen Aufzuchtbedingungen realistisch wiedergibt.

Herkunft der Transferfaktoren	Np-237	Pu-238	Am-241	Cm-244
Allgemeine Berechnungsgrundlage*	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Safety Series No. 57**	$4 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Ergebnisse unserer Arbeiten: für konservative Abschätzung (99%-Wert)	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
für realistische Abschätzung (50%-Wert)	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$

\* Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer", Gemeinsames Ministerialblatt, G3191 AX, Ausgabe A, S. 369, Der Bundesminister des Innern, Bonn, 15.08.79

\*\* Safety Series No. 57 "Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases", S. 64, IAEA, Vienna, 1982

Tab. 5/26: Zusammenstellung von empfohlenen und gemessenen Transferfaktoren zur Berechnung der Strahlenexposition durch Ingestion kontaminierter pflanzlicher Nahrungsmittel

Die gemessenen Transferfaktoren wurden mit den in der Allgemeinen Berechnungsgrundlage vorgegebenen Werten verglichen. Da die Transferfaktoren der Allgemeinen Berechnungsgrundlage durch den Quotienten Aktivität/kg frisches Pflanzenmaterial zu Aktivität/kg trockener Boden festgelegt sind, wurden die gemessenen Werte in gleicher Weise berechnet und die Quotienten Meßwert zu Wert in der Allgemeinen Berechnungsgrundlage gebildet. Diese Quotienten wurden in Abb. 5/6 in ein Wahrscheinlichkeitsnetz eingetragen und die Summenhäufigkeiten bestimmt. Aus Abb. 5/6 ist abzulesen, daß für Pu und Am 95 % aller gemessenen Werte kleiner sind als in der Allgemeinen Berechnungsgrundlage vorgegeben. Dies bedeutet, daß der in die Modelle zur Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch Ingestion einzusetzende Transferfaktor für Pu und Am den unter normalen Bedingungen größtmöglichen Boden-Pflanzen-Transfer realistisch wiedergibt. Für Cm liegen alle gemessenen Werte um mindestens den Faktor 10 unter dem Wert der Allgemeinen Berechnungsgrundlage. Dies ist darauf zurückzuführen, daß der empfohlene Wert für Cm mit  $2,5 \cdot 10^{-3}$  um eine Größenordnung höher angesetzt ist als der Am-Wert mit  $2,5 \cdot 10^{-4}$ . Für Np ist aus Abb. 5/6 abzulesen, daß nur 60 % der gemessenen Transferfaktoren unter dem Wert der Allgemeinen Berechnungsgrundlage liegen, d. h. der Boden-Pflanzen-Transfer von Np wird durch den vorgegebenen Wert von  $2,5 \cdot 10^{-3}$  deutlich unterschätzt. Geht man davon aus, daß mindestens 95 % aller gemessenen Werte unter dem der Allgemeinen Berechnungsgrundlage liegen müssen, so muß der empfohlene Wert mindestens um den Faktor 7 angehoben werden. Beim Vergleich der gemessenen Transferfaktoren mit den empfohlenen Daten aus der neueren Literatur ist festzuhalten, daß die notwendigen Korrekturen der Transferfaktoren von Np und Cm dort bereits durchgeführt sind, wobei nach den hier erhaltenen Ergebnissen diese empfohlenen Transferfaktoren (Tab. 5/26) insgesamt etwas zu "konservativ" ausgelegt sind.

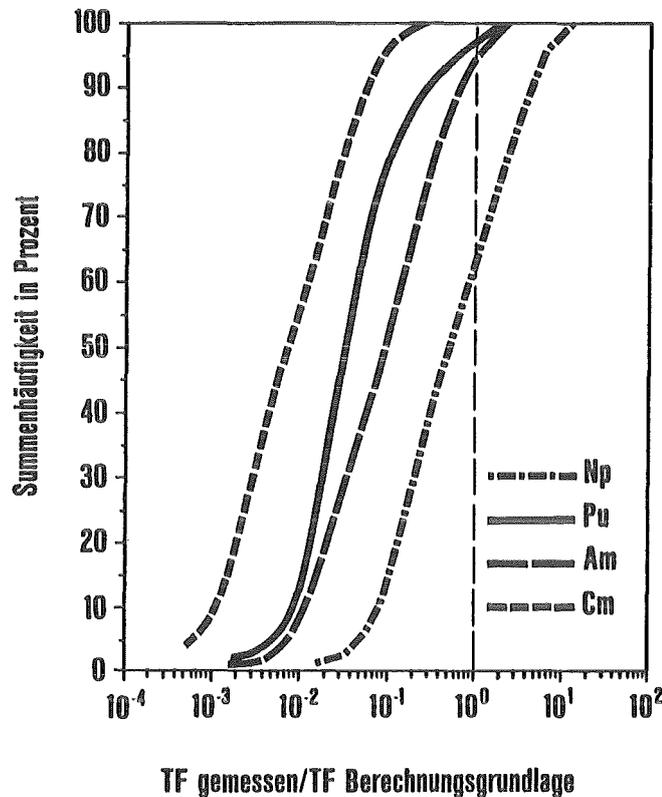


Abb. 5/6: Summenhäufigkeit der Transferfaktoren (TF)

### 5.2.8 Einfluß des Redoxpotentials im Boden auf die Pflanzenverfügbarkeit von Np und Pu

M. Pimpl

Die Aufnahme von Radionukliden aus dem Boden in Pflanzen hängt einerseits ab vom Metabolismus der Pflanze, andererseits von Bodenparametern, die die Löslichkeit eines Nuklids im Bodenwasser bestimmen. Bei Np und Pu ist besonders zu beachten, daß diese Nuklide in wäßriger Lösung in den Oxidationsstufen III, IV, V und VI stabil sind. Da diese verschiedenen Species hinsichtlich ihres chemischen Verhaltens sich sehr voneinander unterscheiden, ist es notwendig, die vorherrschende Oxidationsstufe unter gegebenen Umweltbedingungen zu kennen, um die Löslichkeit im Bodenwasser und damit die Pflanzenverfügbarkeit abschätzen zu können. Welche Bedeutung ein Wechsel der Oxidationsstufe für das chemische Verhalten von Pu und Np im Boden hat, zeigt deutlich Abb. 5/7, in der die im Boden ablaufenden Gleichgewichtsprozesse schematisch zusammengefaßt sind.

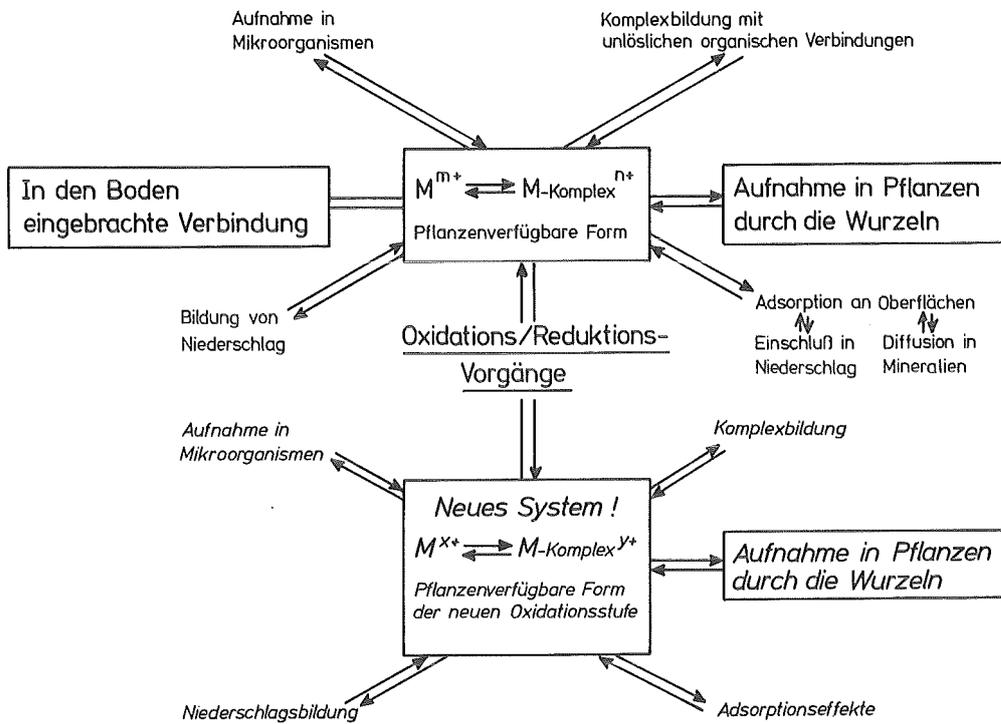


Abb. 5/7: Schematische Darstellung von Bodengleichgewichten, die die Pflanzenverfügbarkeit von Kationen beeinflussen

Im Boden sind Redoxreaktionen an einer Vielzahl von chemischen und biologischen Vorgängen beteiligt. Das Redoxpotential des Bodens wird begrenzt durch den Stabilitätsbereich von Wasser, an dessen Anwesenheit alle Umsetzungen gebunden sind. Der Stoffwechsel von Mikroorganismen bestimmt die Lage des Redoxpotentials im Boden durch oxidativen Abbau organischer Substanzen unter Verbrauch von in der Bodenluft vorhandenem Sauerstoff. Ist die Sauerstoffdiffusion aus der Atmosphäre in die luftführenden Grobporen behindert oder unterbunden, beispielsweise durch Bodenverdichtung oder Wassersättigung, so treten anaerobe Mikroorganismen milieubeherrschend auf, die zum oxidativen Abbau organischer Substanz anstelle von Sauerstoff anorganische und organische Verbindungen hoher Oxidationsstufe als Elektronenakzeptoren verwenden. Abb. 5/8 zeigt schematisch die wichtigsten Redoxreaktionen anorganischer Stoffe im Boden und die zugehörigen Potentialbereiche. Beim Vergleich von gemessenen Redoxpotentialen unter Berücksichtigung von pH und den Konzentrationen an Eisen und Mangan im Bodenwasser mit den Ergebnissen thermodynamischer Berechnungen des Eisen- und Mangansystems unter gleichen Randbedingungen fällt auf, daß die gemessenen Potentiale stets nennenswert tiefer liegen als nach den thermodynamischen Berechnungen zu erwarten wäre. Zur Begründung hierfür sind hauptsächlich zwei Ursachen zu nennen. Zum einen handelt es sich bei den in den Redoxreaktionen auftretenden Eisen- und Manganoxiden um komplexe, nicht stöchiometrische Oxide unterschiedlicher Zusammensetzung, deren freie Standardbildungsenergien sicherlich erheblich geringer sind als die der idealen Verbindungen, die für thermodynamische Berechnungen verwendet werden. Zum anderen kann aus der Anwesenheit von nennenswerten Konzentrationen an löslichen organischen Abbauprodukten in der Bodenlösung gefolgert werden, daß das Redoxpotential in Böden unter reduzierenden Bedingungen durch organische Systeme bestimmt wird, die aber nicht in thermodynamische Berechnungen aufgenommen werden können, da die Einzelreaktionen und die zugehörigen thermodynamischen Daten nicht verfügbar sind.

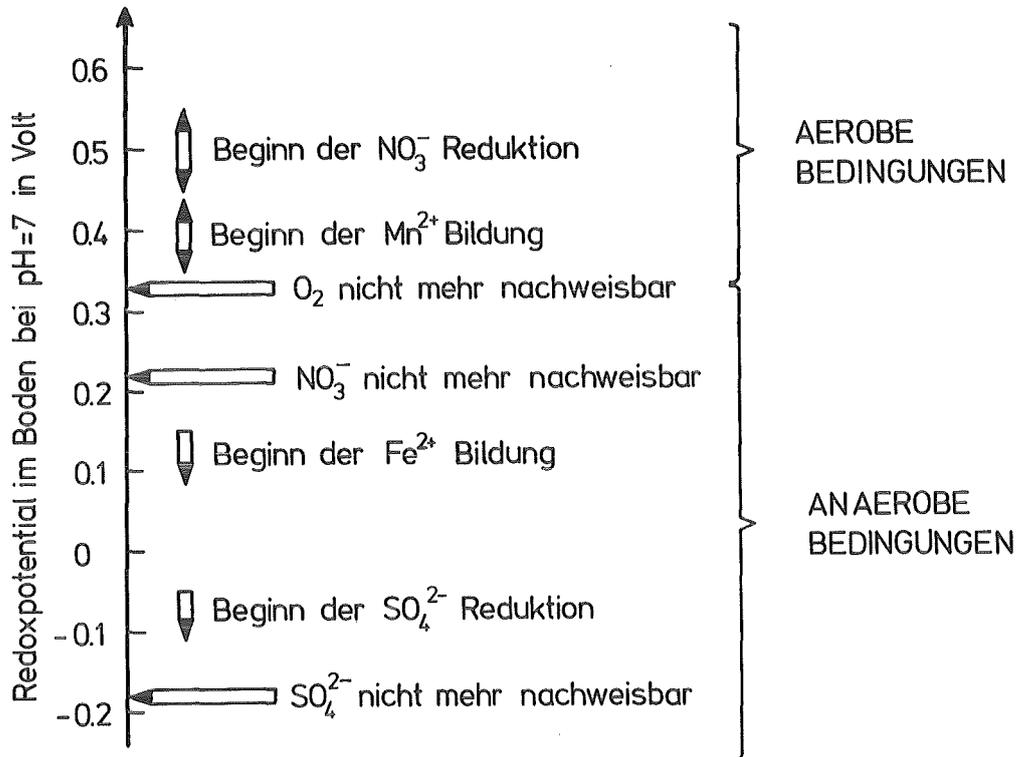


Abb. 5/8: Redoxvorgänge im Boden

Bringt man nun Verbindungen der Elemente Np und Pu, die in wässrigen Lösungen in verschiedenen Oxidationsstufen stabil sind, in einen Boden ein, so wird sich in der Bodenlösung ein Gleichgewicht zwischen den einzelnen Oxidationsstufen einstellen, das einerseits durch Bodenparameter wie pH und Redoxpotential Eh bestimmt wird, andererseits durch elementspezifische Eigenschaften wie Standardpotentiale, Konzentrationen und Komplexbildungstendenzen. Aus Eh-pH-Diagrammen kann abgelesen werden, welche Oxidationsstufe eines Elementes bei vorgegebenem pH und Redoxpotential in einem definierten System vorherrscht. Die Übertragung der Ergebnisse aus Eh-pH-Diagrammen auf die Verhältnisse in der Bodenlösung ist allerdings nur mit Vorbehalt möglich, da, wie Untersuchungen des Eisen- und Mangansystems gezeigt haben, bei realen Systemen die Stabilitätsbereiche der verschiedenen Oxidationsstufen nach tieferen Potentialen hin verschoben sind.

In landwirtschaftlich genutzten Böden liegt der pH-Wert zwischen 3 und 8 und das Redoxpotential im Bereich zwischen 0,6 und 0,3 Volt. Thermodynamische Berechnungen zeigen, daß Np in diesem pH- und Eh-Bereich überwiegend als Np(V) vorliegt; lediglich bei niedrigem pH unter reduzierenden Bedingungen ist Np(IV) in nennenswerter Konzentration zu erwarten. Nimmt man an, daß die bei Eisen und Mangan beobachtete Potentialverschiebung auch für Np gilt, so ergibt sich, daß das Verhalten von Np in der Bodenlösung allein durch Np(V) bestimmt wird. Diese qualitative Aussage ist in Übereinstimmung mit Ergebnissen von Boden-Pflanzen-Transfermessungen, bei denen die relativ hohe Aufnahme von Np in die Pflanzen auf die Anwesenheit von Np(V) im Boden zurückzuführen ist.

Wesentlich schwieriger ist das Redoxverhalten von Pu in der Bodenlösung abzuschätzen. Unter den für landwirtschaftlich genutzte Böden vorgegebenen pH- und Eh-Bedingungen ergeben thermodynamische Berechnungen, daß unter reduzierenden Bedingungen und niedrigem pH Pu(III) dominiert, bei oxidierenden Bedingungen und hohem pH Pu(V), während Pu(IV) nur in einem schmalen Stabilitätsbereich unter reduzierenden Bedingungen bei hohem pH die vorherrschende Species darstellt. Nimmt man auch hier an, daß die bei Eisen und Mangan beobachtete Potentialverschiebung stattfindet, so wird der

Stabilitätsbereich von Pu(III) soweit verschoben, daß in der Bodenlösung nur noch Pu(IV) und Pu(V) vorhanden sind.

Aufgrund dieser Überlegungen sollte nun die Aufnahme von Pu aus dem Boden in die Pflanzen durch die Wurzeln größenordnungsmäßig mit der Wurzelaufnahme von Np übereinstimmen. Experimentelle Untersuchungen zeigen jedoch, daß Pu wesentlich weniger pflanzenverfügbar ist als Np und in seinem Aufnahmeverhalten vierwertigem Th sehr ähnlich ist. Dies läßt den Schluß zu, daß Pu in der Bodenlösung nicht in Form freier oder hydrolysierter Ionen vorliegt, sondern daß lösliche Komplexverbindungen mit organischen Substanzen des Bodens vorliegen, die die Löslichkeit und damit Pflanzenverfügbarkeit von Pu-Species in verschiedenen Oxidationsstufen stark verändern können. Diese Komplexbildungsreaktionen können zur Zeit bei thermodynamischen Betrachtungen nicht berücksichtigt werden, da die im einzelnen ablaufenden Umsetzungen nicht bekannt sind.

Um zu demonstrieren, in welchem Ausmaß Komplexbildung die Löslichkeit von Pu-Species in den verschiedenen Oxidationsstufen beeinflußt, wurden Komplexbildungsreaktionen mit EDTA (Äthylendiamintetraessigsäure) betrachtet. Dabei steht EDTA als starker Komplexbildner stellvertretend für alle löslichen organischen Verbindungen mit Komplexbildungseigenschaften, die durch mikrobielle Aktivitäten im Boden gebildet werden. Die Ergebnisse dieser Betrachtungen sind in Abb. 5/9a-c zusammengefaßt.

Da experimentelle Untersuchungen zeigen, daß das Verhalten von Pu im Boden durch Pu(IV) geprägt wird, wurden alle Konzentrationen der verschiedenen Pu-Species durch die Konzentration an  $Pu^{4+}$  in der Lösung dividiert und die erhaltenen Konzentrationsverhältnisse gegen den pH der Lösung für verschiedene Redoxpotentiale aufgetragen. Die Abbn. 5/9a und b veranschaulichen die Konzentrationsverhältnisse, wie sie durch thermodynamische Berechnungen ohne Berücksichtigung von Komplexbildung erhalten werden: Pu(III) und Pu(V) herrschen in der Bodenlösung vor; Pu(IV) ist nur unter reduzierenden Bedingungen bei niedrigem pH dominant, wenn eine  $Pu(OH)_4$ -Niederschlagsbildung berücksichtigt wird, bei höherem pH aber ist Pu(V) für das Verhalten von Pu im Boden ausschlaggebend. Berücksichtigt man die Komplexbildung der verschiedenen Pu-Species, so erhält man die in Abb. 5/9c gezeigten Löslichkeitsverhältnisse: wegen seiner Fähigkeit, sehr stabile Komplexe zu bilden, weist nun komplexgebundenes Pu(IV) die höchste Konzentration auf und beherrscht das System.

Anhand dieser Betrachtungen wird deutlich, daß die Kenntnis der Redoxpotentiale allein keine allgemein gültige Aussage über die tatsächlich vorliegenden Konzentrationsverhältnisse der verschiedenen Pu-Species im Boden zuläßt. Realistische Interpretationen sind nur dann möglich, wenn alle im Boden auftretenden Verbindungen bekannt sind und bei den Betrachtungen mit einbezogen werden. Da in der Bodenlösung eine Vielzahl an organischen und anorganischen Verbindungen vorhanden sind, deren Reaktionen mit Pu nicht genau bekannt sind, ist eine quantitative Aussage zum Verhalten von Pu in landwirtschaftlichen Böden, basierend auf thermodynamischen Berechnungen, zur Zeit nicht möglich.

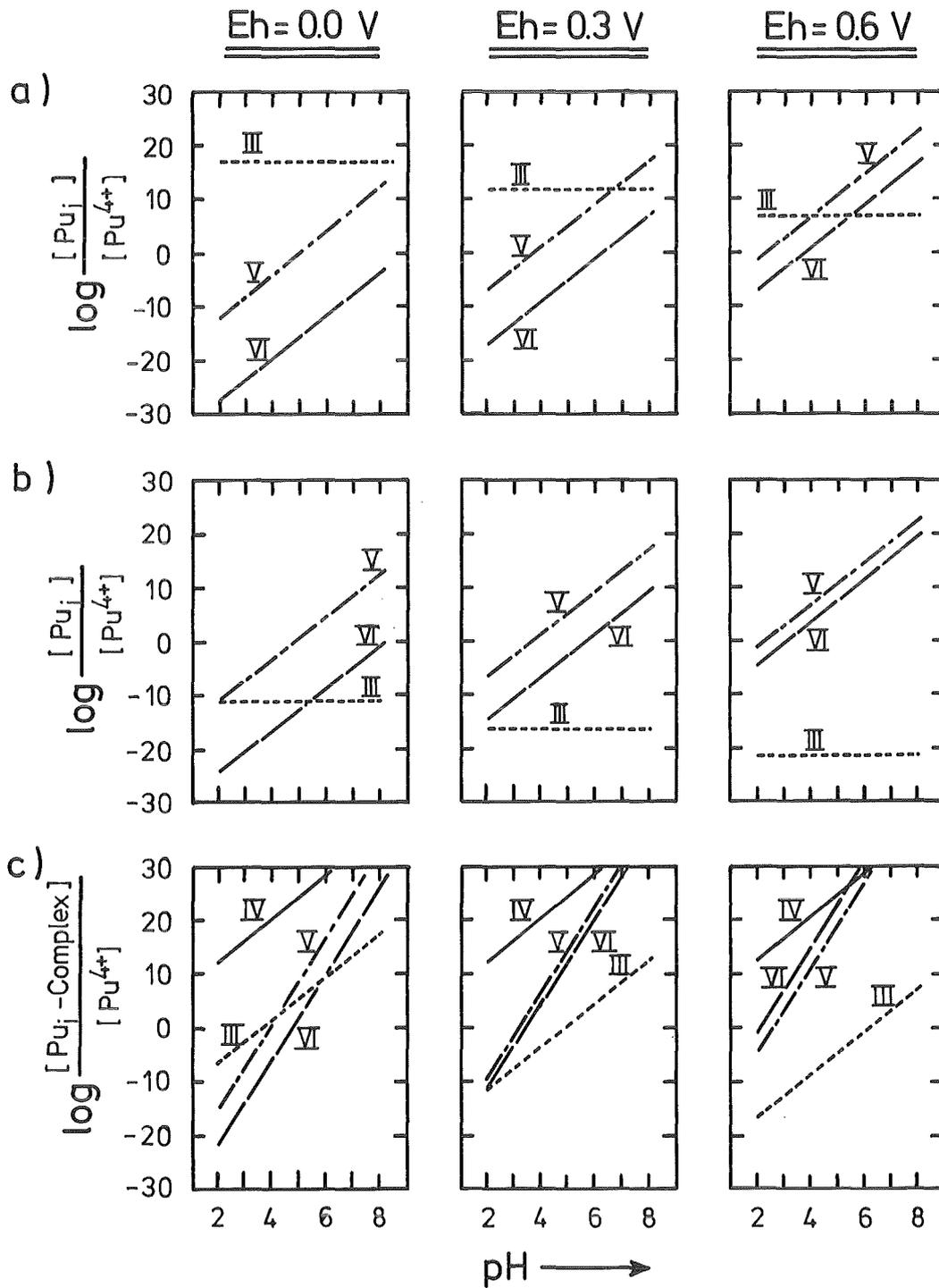


Abb. 5/9a-c: Löslichkeit von Pu-Ionen in verschiedenen Oxidationsstufen im Verhältnis zur Löslichkeit von  $Pu^{4+}$   
 a) ohne Berücksichtigung von  $Pu(OH)_4$ -Niederschlag und Komplexbildung  
 b)  $Pu^{4+}$  im Gleichgewicht mit  $Pu(OH)_4$ , ohne Komplexbildung  
 c) EDTA-Komplexe von Pu im Gleichgewicht mit  $Pu(OH)_4$

5.2.9 Mobilität verschiedener Tc-99-Spezies im Boden und deren Aufnahme durch Pflanzen

B. Bohn, W. Schmidt

Die im April 1985 begonnenen Messungen zum Boden-Pflanzen-Transfer von Tc-99 wurden 1986 fortgesetzt. Die Untersuchungen wurden mit einem Löß- und einem Sandboden und den beiden stabilsten Oxidationsstufen von Tc, Tc-IV und Tc-VII, durchgeführt. Als Fruchtfolge wurde Kartoffel/Gras bzw. Weizen/Gras gewählt. Die Düngung erfolgte mit drei verschiedenen, handelsüblichen Kunstdüngern.

Die Analysen von Weizen- und Kartoffelblättern zur Blüte- bzw. Erntezeit ergaben einen deutlichen Anstieg der Tc-Konzentration in den Weizenblättern mit zunehmendem Alter der Pflanze (s. Abb. 5/10). Die Kartoffelpflanze reichte dagegen nur bis zur Blütezeit Tc-99 an. Mit dem Wachstum der Früchte beginnt das Kraut zu welken und die Nährstoffe werden zur Knolle transportiert. Entsprechend lag die Tc-Konzentration der alten Blätter in fast allen Proben niedriger als zur Blütezeit.

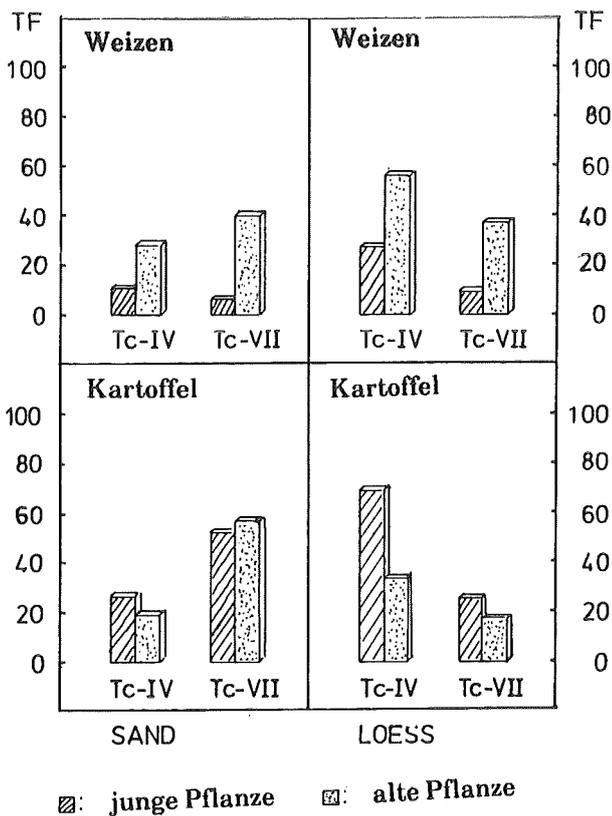


Abb. 5/10: Tc-Konzentration in jungen und gealterten Pflanzen, TF = Bq/kg frische Pflanze / Bq/kg trockenen Boden

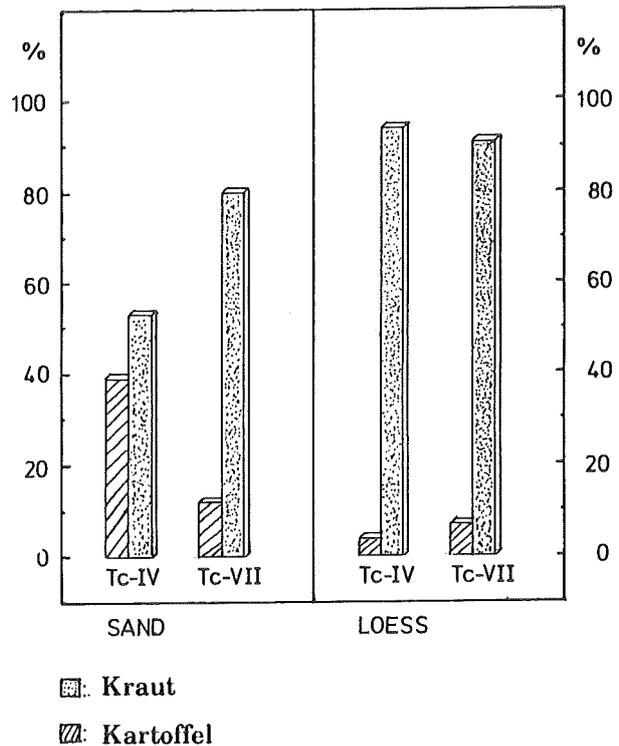


Abb. 5/11: Verteilung des Tc in der Kartoffelpflanze in Prozent der Gesamtaktivität

Die Verteilung des Tc in der Kartoffel ist aus Abb. 5/11 zu ersehen. Der größte Teil der Aktivität befand sich in den grünen Pflanzenteilen. Der Transfer in die Kartoffelknolle ist abhängig vom Humusgehalt des Bodens. Die Werte lagen für den Sandboden mit 2 % organischen Materials weit höher als für Löß mit 1 % organischen Materials. Im Gegensatz zu anderen Radionukliden wurde Tc nicht in der Kartoffelschale angereichert. Der Anteil an der Gesamtaktivität in der Pflanze lag in allen Proben unter 1 %. Die Verteilung des Tc in der Weizenpflanze ist unabhängig vom Bodentyp und Spezies des Nuklids. Über 80 % der Gesamtaktivität der Pflanze befand sich in den Blättern, 10 - 15 % in den Stengeln, 2 - 8 % in den Ähren und 1 - 3 % in den Körnern (s. Abb. 5/12). Ein Einfluß der verschiedenen Düngerarten - verabreicht in landwirtschaftsüblichen Mengen - konnte nicht festgestellt werden.

Um den Einfluß der organischen Substanz des Bodens auf den Transfer von Tc genauer zu erfassen, wurde eine weitere Versuchsreihe angelegt. Hierzu wurden dem Lößboden unterschiedliche Mengen an getrocknetem Pferdemist beigemischt und wie zuvor mit Tc-VII bzw. Tc-IV kontaminiert. Der Gehalt an organischem Material lag nun zwischen 1,2 und 4,4 %. Weidelgras wurde gesät und zweimal geschnitten. Wie aus Abb. 5/13 zu ersehen ist, nahm der Transfer von Tc aus Tc-VII- und Tc-IV-kontaminierten Töpfen mit steigendem Gehalt an organischer Substanz deutlich ab. Die gleiche Versuchsreihe wird zur Zeit auf gealtertem Boden wiederholt.

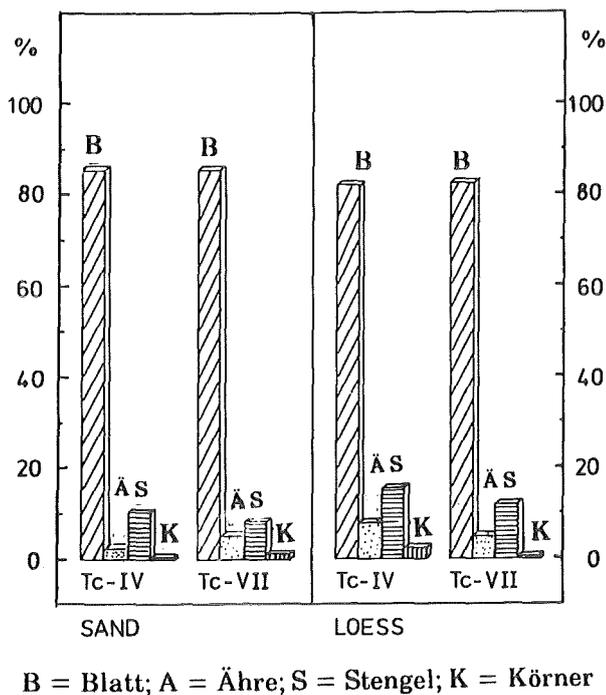


Abb. 5/12: Verteilung des Tc in der Weizenpflanze in Prozent der Gesamtaktivität

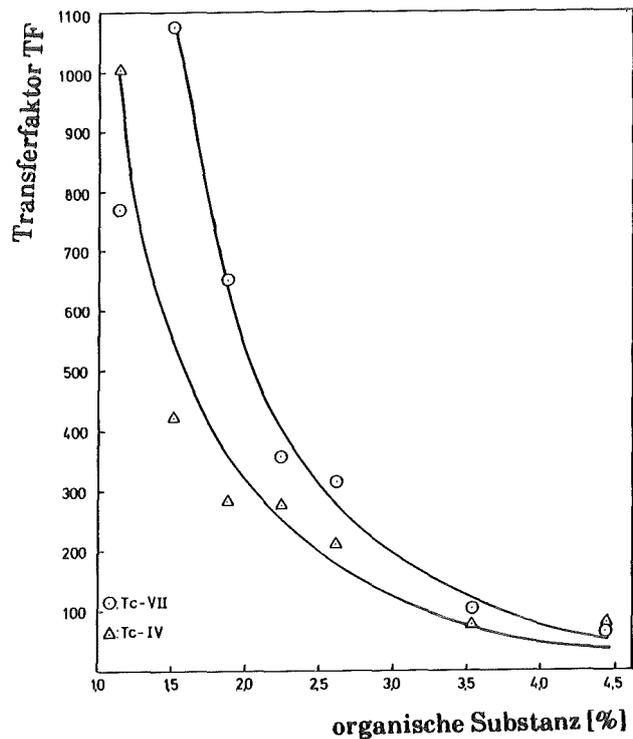


Abb. 5/13: Transferfaktor (Bq/g trockene Pflanze / Bq/g trockener Boden) in Abhängigkeit vom Gehalt an organischer Substanz

5.2.10 Neuanlage eines Versuchs zur Mobilisierung von Schwermetallen durch Regenwürmer

W. Schmidt, J. Hiller, Th. Sollich

In einem abgelaufenen und ausgewerteten Versuch wurde die Verteilung von Schwermetallen im Boden durch Regenwürmer der Art *Lumbricus terrestris* untersucht (KfK 4028). Dabei stellte sich auch heraus, daß einige Schwermetalle wie z. B. Cadmium in Verbindung mit der Regenwurmtätigkeit vermehrt löslich und damit pflanzenverfügbar wurden. Ziel des neuangelegten Versuchs war es daher, neben der Verteilung der Schwermetalle im Boden nach einer simulierten Kontamination des Oberbodens ohne Abdeckung bzw. mit Abdeckung nichtkontaminierten Bodens hauptsächlich die Veränderung der löslichen Anteile der Schwermetalle und ein möglicherweise verändertes Transferverhalten in Pflanzen zu beobachten. Daher wurden für den neuen Versuch die Elemente As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb und Zn in unlöslicher Oxidform dem Boden zugemischt. Es wurden acht runde Plexiglaszylinder mit einer Fläche von 0,26 m<sup>2</sup> benutzt. Die Zylinder bestehen längseits aus zwei Hälften mit eingeklebter Bodenplatte, die durch Klammern und Scharniere zusammengehalten werden. Jede Säule wurde mit 120 kg Boden gefüllt (Tab. 5/27), wobei die kontaminierte Bodenschicht 35 kg = 29 cm Höhe entspricht. Lage der kontaminierten Schicht, Konzentration der Schwermetalle und Bewuchs der einzelnen Säulen wird in Abb. 5/14 bzw. Tab. 5/28 aufgeführt. Die kontaminierte Schicht von ca. 20 cm Stärke befindet sich entweder oben oder in der Mitte. Die Konzentrationsstufe I entspricht den tolerierbaren Richtwerten (Obergrenze) für Schwermetallgehalte in Böden, die Konzentrationsstufe II wurde jeweils 4fach höher angesetzt, um eine Kontamination zu simulieren. Als Bewuchs wurde zunächst Raps und Gras gewählt; ab Frühjahr 1987 sollen weiterhin Gras und verschiedene Gemüse- und Hackfrüchte gepflanzt werden, um mögliche Veränderungen der Pflanzenverfügbarkeit im Transferfaktor zu erkennen. Um möglichst natürliche Versuchsbedingungen zu haben, wurden die Bodensäulen außen in den Boden eingegraben (Abbn. 5/14 und 5/15).

Oberboden:	Entnahmetiefe	0 - 25 cm
Humusgehalt :		3,7 %
pH-Wert:		7,2
CaCO <sub>3</sub> :		0,6 %
Nährstoffe (mg/kg):	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30
	K <sub>2</sub> O	80
	Mg	290
	B	0,93
	Cu	11
	Na	3,0
	Ca	500
	Mo	< 0,05
	Mn	0,26
	Geamt N (%)	0,26
Schlämmanalyse (%-Anteile):	Grobsand	1,5
	Mittelsand	6,6
	Feinsand	6,3
	Grobschluff	36,1
	Mittelschluff	22,5
	Feinschluff	14,0
	Ton < 2 µm	13,0
Austauschkapazität (mval/100 g Boden):	T-Wert	21,5
	S-Wert	21,5

Tab. 5/27: Bodenkenndaten des Versuchsbodens

Element	Elementkonzentration in der Vormischung in µg/g								
Parameter	Zn	Cd	Co	Cr	Ca	Ni	Pb	As	Sb
zugemischte Konzentrationen	1750	35	350	1750	700	1750	700	700	17,5
Stichprobe 1	1970±3	37±4	390±2	117,9±0,2	844,8±0,5	887,7±0,8	609,0±0,3	429±4	< 9,6
Stichprobe 2	1869,3±0,2	37±3	391±2	121,4±0,00	800±6	837±4	588±3	419±5	< 9,6
Stichprobe 3	2181,9±0,3	41,6±0,6	420,7±0,3	116±2	-	917±4	682±3	444±1	< 9,6
Stichprobe 4	2235±2	43±5	434±4	124±3	-	984,4±0,2	723±1	469±4	< 9,6
Stichprobe 5	1902±1	38,4±0,7	397±1	116,0±0,7	823,6±0,6	864±3	612±4	413±4	< 9,6
Stichprobe 6	2331,2±0,8	46,8±0,1	466,6±0,5	130±1	744±4	1055±1	-	518±5	< 9,6
Stichprobe 7	2089±4	40,5±0,2	411±1	117,9±0,6	-	922,5±0,7	665,9±0,1	436±1	< 9,6
Stichprobe 8	2094,6±0,9	37,8±0,6	411±2	117±3	-	886±4	650±3	432±4	< 9,6
absolut (ohne Fehlerfortpflanzung)	2084±163	40±3	415±26	120±5	803±43	919±70	647±47	445±34	< 9,6
% (ohne Fehlerfortpflanzung)	100±7,8	100±7,5	100±6,3	100±4,2	100±5,4	100±7,6	100±7,3	100±7,6	-

Tab. 5/29: Überprüfung der Homogenität der in den Boden eingemischten Schwermetalle

Boden- säule Nr.	Kontaminationsmenge µg/g						Kontami- nierte Schicht in cm Tiefe	Bewuchs	25 Regen- würmer pro Säule
	As	Cd	Co, Ni	Cr, Cu, Pb	Sb	Zn			
1	20	3	50	100	5	300	0 - 20	Gras	103,9
2							0 - 20	Raps	111,2
3							45 - 65	Gras	115,7
4							45 - 65	Raps	95,4
5	80	12	200	400	20	1200	0 - 20	Gras	94,6
6							0 - 20	Raps	108,5
7							45 - 65	Gras	106,1
8							45 - 65	Raps	97,9

Tab. 5/28: Kontaminationsmenge bei 8 Säulen, kontaminierte Schichttiefe, Bewuchs und eingesetztes Regenwurmgewicht

Tab. 5/29 zeigt die Ergebnisse zur Überprüfung der Homogenität der in den Boden eingemischten Metalle. Die Abweichung liegt immer deutlich unter 10 %, eine homogene Verteilung der eingemischten Schwermetalle in der kontaminierten Schicht kann daher angenommen werden.

Tab. 5/30 zeigt den Vergleich der Schwermetallgehalte im Boden bei HNO<sub>3</sub>- und Königswasseraufschluß nach Kontamination mit den Konzentrationen, die den tolerierbaren Gehalten für Boden entsprechen. Die Ergebnisse machen deutlich, daß der Königswasseraufschluß gegenüber dem HNO<sub>3</sub>-Aufschluß keine wesentlich höheren Gehalte bringt. Demnach reicht der HNO<sub>3</sub>-Aufschluß aus und wird für den begonnenen Versuch als repräsentativ für den Gesamtgehalt definiert.

Element	Schwermetallzugabe [µg/g Boden]	HNO <sub>3</sub> -Aufschluß [µg/g Boden]	Königswasserauf- schluß [µg/g Boden]
As	20	29 ± 6	38 ± 8
Cd	3	4,4 ± 0,9	5 ± 1
Co	50	65 ± 16	65 ± 16
Cr	100	52 ± 5	61 ± 2
Cu	100	148 ± 39	154 ± 36
Ni	50	84 ± 15	89 ± 14
Pb	100	109 ± 26	121 ± 24
Sb	5	< 9,7	< 9,3
Zn	300	440 ± 120	477 ± 104

Tab. 5/30: Vergleich der Schwermetallgehalte nach HNO<sub>3</sub>- und Königswasseraufschluß bei Konzentrationsstufe I

Tab. 5/31 bestätigt diesen Sachverhalt, daß der Königswasseraufschluß auch bei höheren Konzentrationen keine höheren Gehalte gegenüber dem HNO<sub>3</sub>-Aufschluß bringt.



Abb. 5/14: In den Boden eingegrabene Regenwurmsäulen nach der Aussaat mit Schutz gegen Vogelfraß

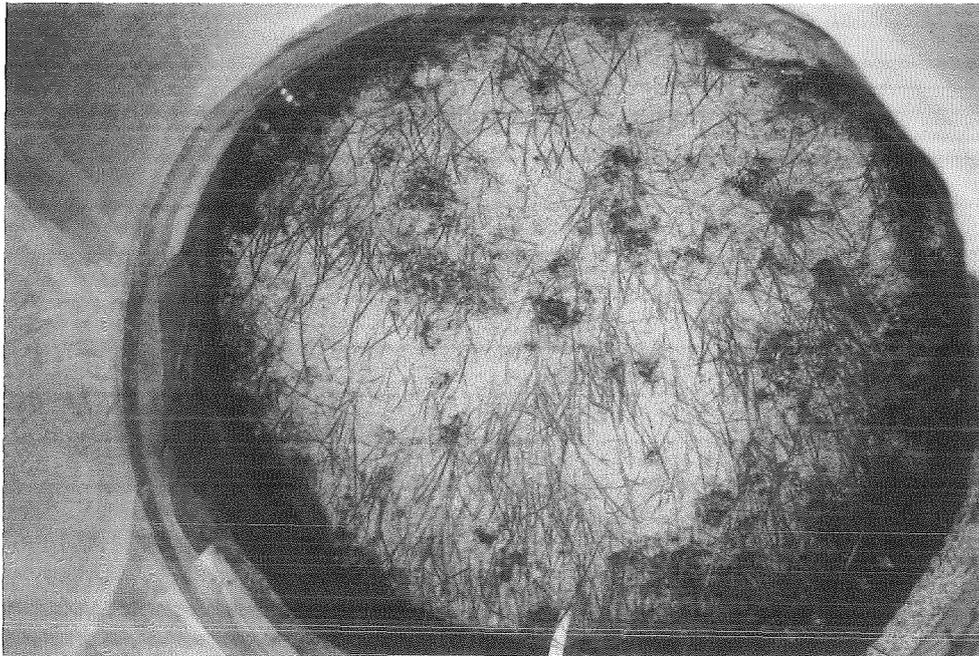


Abb. 5/15: Oberfläche einer Bodensäule mit Grasbewuchs und von den Regenwürmern auf der Quarzsandschicht abgelagerte Wurmaggregate

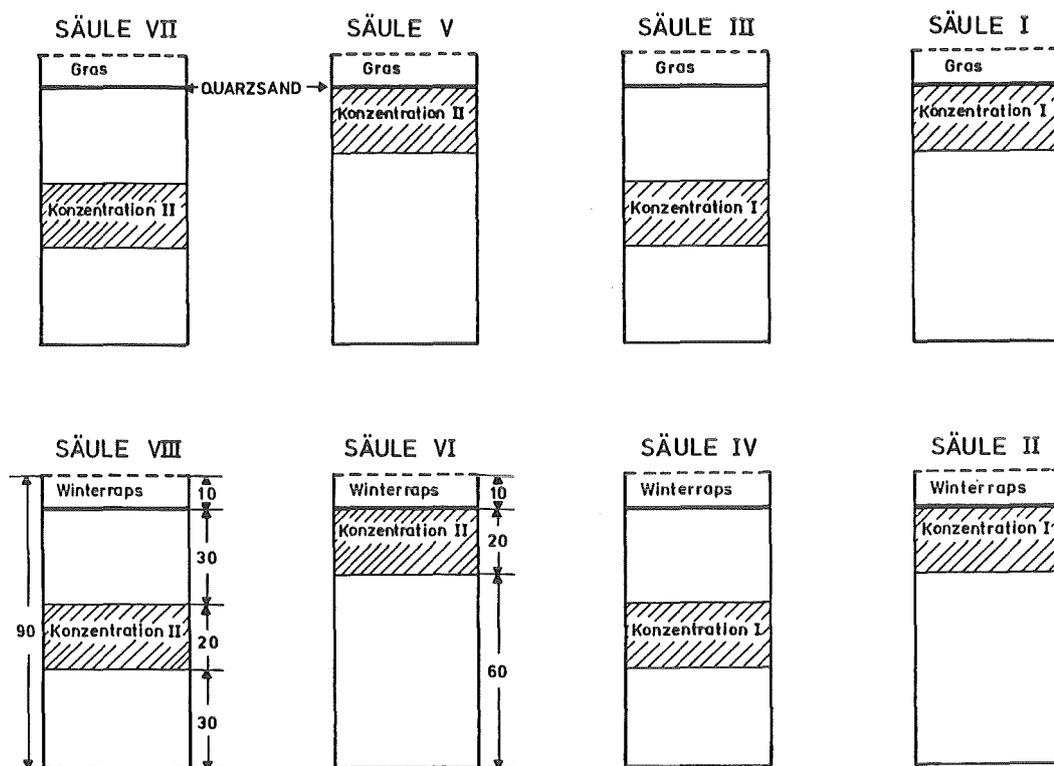


Abb. 5/16: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Element	Schwermetallzugabe [ $\mu\text{g/g}$ Boden]	$\text{HNO}_3$ -Aufschluß [ $\mu\text{g/g}$ Boden]	Königswasseraufschluß [ $\mu\text{g/g}$ Boden]
As	80	$117 \pm 19$	$143 \pm 12$
Cd	12	$14 \pm 2$	$14,5 \pm 0,4$
Co	200	$236 \pm 30$	$237 \pm 13$
Cr	400	$52 \pm 4$	$60 \pm 2$
Cu	400	$537 \pm 58$	$534 \pm 19$
Ni	200	$226 \pm 23$	$233 \pm 8$
Pb	400	$367 \pm 36$	$379 \pm 12$
Sb	20	$< 9,1$	$16,7 \pm 0,3$
Zn	1200	$1523 \pm 165$	$1564 \pm 60$

Tab. 5/31: Vergleich der Schwermetallgehalte nach  $\text{HNO}_3$ - und Königswasseraufschluß bei Konzentrationsstufe II

5.2.11 Auswirkungen von steigenden Se-, As- und Ag-Gaben auf Keimfähigkeit von Erbse und Sommerweizen

W. Schmidt, B. Bohn, Th. Sollich

Im Rahmen der Forschungsarbeiten zum Boden-Pflanzen-Transfer anorganischer Schadstoffe wurden auch Keimversuche durchgeführt, da mit der Keimung und Ausbildung der ersten Wurzel die Nährstoffaufnahme aus dem Boden in die Pflanze anläuft. Ziel dieser ersten Versuchsreihe war es, für die Elemente Selen, Arsen und Silber durch Bestimmung der Massebildung nach wenigen Tagen sowie reduzierter Keimzahlen die pflanzenschädigende Wirkung der Schwermetalle in Abhängigkeit ihrer Konzentration im Boden bzw. Keimsubstrat aufzuzeigen.

Von Selen ist bekannt, daß es in bestimmten Pflanzen akkumuliert wird, während bei nicht selentoleranten Pflanzen die Selenverbindungen die Keimung der Samen und das Wachstum stören. Tab. 5/32 zeigt die Ergebnisse: Ab einer Zugabe von mehr als 50 µg Se/g gewaschener Seesand als SeO<sub>2</sub> ist sowohl bei Sommerweizen als auch bei Erbse eine reduzierte Keimfähigkeit zu erwarten. Anhand der prozentualen Erntegewichte der oberirdischen Erbsentriebe wird deutlich, daß der physiologische Schaden durch Selen bereits früher einsetzt, nämlich bei ca. 10 µg Se/g. Die gemessenen Selengehalte in gekeimten Körnern von Sommerweizen erhöhen sich mit zunehmendem Angebot im Substrat. Dies gilt auch für die geernteten Triebe, nicht jedoch für die Wurzeln, wo bei einem Angebot von 5 - 20 µg Se/g annähernd gleiche Gehalte an Selen gefunden wurden. Bei 50 µg Se im Substrat verdreifacht sich dann der Selengehalt im Wurzelmaterial.

Se-Zugabe zum Substrat* in µg/g	Keimfähigkeit nach der Aussaat in %		Erntegewicht (naß) in %, Erbse nach 10 Tagen	Se-Gehalte in µg/g			
	Sommerweizen nach 6 Tagen	Erbse nach 10 Tagen		Sommerweizen			Erbsentriebe
				Korn	Wurzel	Trieb	
0	75±11	94±2	100±10	9±4	26±8	16±3	8±3
1	89±10	89±4	83±14	< 6,5	120±5	29±3	7±3
5	77±12	91±2	71±14	36±1	539±9	56±5	37±6
10	90±10	92±6	26±10	78±6	496±9	74±6	91±21
20	73±10	87±13	21±4	178±2	497±4	95±4	165±19
50	53±10	42±23	5±5	585±3	1774±6	338±8	379±121

\*gewaschener Seesand

Tab. 5/32: Keimfähigkeit von Sommerweizen und Erbse; Erntegewichte der Erbsentriebe und Se-Gehalte im Aufwuchs von Sommerweizen und Erbse 10 Tage nach der Aussaat bei verschieden hoher Se-Kontamination des Keimsubstrats

Die gemessenen Selengehalte in den Erbsentrieben sind mit denen des Sommerweizens vergleichbar. Die Anreicherungen von Se liegen teilweise bei einem Faktor von über 100, bei den Wurzeln deutlich über 1 und nehmen gerade bei Konzentrationen von  $> 10 \mu\text{g Se}$  im Substrat in der Reihenfolge Wurzel - Korn - Trieb ab.

Von Arsen ist bekannt, daß toxische Auswirkungen auf Pflanzen möglich sind; neben der Carcinogenität ist die Phytotoxizität größer als die Tiertoxizität einzuschätzen.

Tab. 5/33 zeigt die Ergebnisse der Keimfähigkeit sowie die abgeerntete Sproßmenge von Sommerweizen nach 10 Tagen auf zwei verschiedenen Böden. Während auf dem Löß-Unterboden mit neutralem pH-Wert und geringer organischer Substanz der kritische Bereich in Form von reduzierter Keimfähigkeit bereits bei etwa  $20 \mu\text{g As/g}$  auftritt, liegt dieser Wert auf dem Podsol-Oberboden mit saurem pH-Wert und relativ hohem Gehalt an organischer Substanz erst zwischen 100 und  $200 \mu\text{g As/g}$ .

As-Zugabe zum Boden $\mu\text{g/g}$	Keimfähigkeit in %		Erntegewichte naß			
	Löß	Podsol	absolut in g		in %	
			Löß	Podsol	Löß	Podsol
0	87 $\pm$ 10	90 $\pm$ 3	1,98 $\pm$ 0,09	1,9 $\pm$ 0,2	100 $\pm$ 5	100 $\pm$ 11
10	90 $\pm$ 5	93 $\pm$ 3	0,9 $\pm$ 0,1	1,61 $\pm$ 0,07	45 $\pm$ 5	85 $\pm$ 4
20	77 $\pm$ 7	90 $\pm$ 7	0,46 $\pm$ 0,09	1,7 $\pm$ 0,2	23 $\pm$ 5	89 $\pm$ 11
50	37 $\pm$ 7	97 $\pm$ 3	0,06 $\pm$ 0,05	1,3 $\pm$ 0,3	3 $\pm$ 3	68 $\pm$ 16
100	13 $\pm$ 7	90 $\pm$ 7	0,02 $\pm$ 0,01	0,2 $\pm$ 0,2	1 $\pm$ 1	11 $\pm$ 11
200	3 $\pm$ 3	60 $\pm$ 10	-	0,03 $\pm$ 0,02	-	2 $\pm$ 1

Tab. 5/33: Keimfähigkeit von Sommerweizen und Erntegewichte der Weizentriebe nach 10 Tagen auf zwei verschiedenen Böden bei unterschiedlicher As-Kontamination der Böden

Die Ursache der unterschiedlichen Keimfähigkeit auf den beiden Böden liegt an der Menge des in der Bodenlösung befindlichen mobilen Arsens. Beim Podsol dürften vermutlich vorwiegend hochmolekulare und bei saurer Reaktion unlösliche organische Verbindungen mit beträchtlicher Bindungskapazität für Schwermetalle vorliegen. Der  $B_vC$ -Horizont der verwendeten Parabraunerde enthält einen schlufffreien, basischen Boden im neutralen/basischen pH-Bereich  $> 7$  mit einer hohen spezifischen Bindungsfähigkeit durch Adsorption. Der sorptiv gebundene Anteil liegt demnach beim Podsol ( $A_p$ ) höher als bei der Parabraunerde ( $B_vC$ ).

Die Erntegewichte in Tab. 5/33 bestätigen die unterschiedliche Wirkung der gleichen Arsenmenge auf den zwei verschiedenen Böden auf den Ertrag, der beim Podsol ( $A_p$ ) höher als bei der Parabraunerde ( $B_vC$ ) ausfällt. Allerdings beginnt die phytotoxische Wirkung auf die heranwachsenden Keimlinge je nach pflanzenverfügbarem Anteil schon bei weniger als  $10 \mu\text{g As/g}$  Boden. Bei der Parabraunerde ( $B_vC$ ) ist bei  $10 \mu\text{g As/g}$  Boden nur noch knapp der halbe Ertrag vorhanden.

Silber ist ein Metall, das als industrieller Abfall weit verbreitet in die Umwelt gelangt. Dabei sind Pflanzen gegenüber der Toxizität des Silbers resistenter als Tiere. Die akute Toxizität bei Süßwasserpflanzen liegt bei 30 - 7 500 µg/l und hängt von der jeweils vorliegenden Silberverbindung ab, wobei Silbernitrat die giftigste Verbindung ist.

In Tab. 5/34 sind die Ergebnisse dargestellt. Demnach wird die Keimfähigkeit der Erbsen erst oberhalb 50 µg/g Boden reduziert. Die phytotoxische Wirkung setzt jedoch sehr viel früher ein. Bereits bei Ag-Gehalten von mehr als 5 µg/g Keimsubstrat sind die Erntegewichte der Erbsentriebe quantitativ deutlich reduziert, weil die physiologischen Abläufe wegen des zunehmenden Ag-Gehalts im Boden wahrscheinlich gestört sind. Die Ag-Mengen in den Erbsentrieben bestätigen dies; ab etwa 5 µg Ag/g ist eine deutliche Ag-Menge im Pflanzenmaterial feststellbar. Die Ag-Gehalte in der Pflanze überschreiten die des Bodens nicht.

Ag-Zugabe µg/g	Keimfähigkeit in % nach 10 Tagen	Erntegewichte in % nach 10 Tagen		Trockensub- stanzanteil (105 °C) in %	Ag-Gehalt im Aufwuchstrieb nach 10 Tagen µg/g
		naß	trocken		
0	78±2	100±10	100±9	11	0,15±0,01
1	74±5	83±14	89±17	12	0,6±0,2
5	76±2	71±14	78±18	12	1,3±0,4
10	77±6	26±10	37±9	15	3±1
50	73±15	22±3	35±4	17	18±7
100	35±4	6±4	11±7	21	48±23

Tab. 5/34: Keimfähigkeit bei Erbsen, Erntegewicht, Trockensubstanzanteil und Ag-Gehalte in Erbsentrieben 10 Tage nach der Aussaat bei unterschiedlich hoher Ag-Kontamination des Keimsubstrats

## 5.2.12 Strahlenexposition von Bäumen durch den Tschernobyl-Unfall

L.A. König, H. Fessler

Ein Vortrag bei dem Forum "Einfluß radioaktiver Stoffe auf das Schadstoffpotential der Atmosphäre und auf die Aktivitätsbelastung von Pflanzen", Stuttgart, 7. November 1986 befaßte sich mit der Strahlenexposition von Bäumen durch den Tschernobyl-Unfall.

Im Zusammenhang mit diesem Unfall wurden von der Abteilung Radioökologie (HS/R) der Hauptabteilung Sicherheit (HS) des Kernforschungszentrums Karlsruhe zahlreiche Proben auf Radioaktivität ausgemessen. Es lag nahe, solche Messungen nicht nur an den Erfordernissen des Strahlenschutzes des Menschen zu orientieren, sondern zugleich auch eine optimale Ausbeute an radioökologischen Erkenntnissen anzustreben. Dabei wurde neben anderem auch das Ökosystem Wald ins Auge gefaßt. Von dem Tschernobyl-Unfall herstammende Aktivität wurde in beträchtlichem Umfang auf Blättern bzw. Nadeln von Bäumen abgelagert, von wo sie teils durch Niederschläge abgewaschen wurde bzw. wird, teils mit dem Laubfall und mit abfallenden Nadeln auf den Boden gelangt. Nach dem Vermodern von Blättern bzw. Nadeln wird ein Teil dieser Aktivität in der Nahrung von im Wald lebendem Wild sowie in Pilzen aufgenommen werden und somit zur Strahlenexposition von Menschen beitragen. Zu diesem Problemkomplex werden in den kommenden Jahren interessante Ergebnisse erwartet. Auch der Beitrag der Falloutaktivität zur Direktstrahlung muß beachtet werden; allerdings wird zumindest der  $\gamma$ -Anteil bei allen Direktmessungen der Dosisleistung miterfaßt. Die Erhöhung des Cs-137-Anteils der in Blättern bzw. Nadeln enthaltenen Aktivität kann - verglichen mit der Zeit vor dem Unfall - den Faktor 100 überschreiten. Allerdings bleibt die Gesamtstrahlenexposition im Bereich der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition, so daß Strahlenschäden an Bäumen auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland unvorstellbar sind. Die Erhöhung der künstlichen Aktivität bezogen auf die Fläche des Bundesgebietes ist groß gegen den Beitrag kerntechnischer Anlagen.

Nach theoretischen Überlegungen war eine vernachlässigbar kleine Strahlenexposition von Nadeln durch gelöste Edelgase zu erwarten. Für Xe-133 lag die Nachweisgrenze durch den hohen I-131-Beitrag um den Faktor 1000 über dem im Gleichgewicht zu erwartenden Wert.

Der Aufnahmemechanismus des radioökologisch besonders interessanten Radiocäsiums in Blättern, Nadeln und Früchte ist nicht völlig klar. Weitere Untersuchungen sind von Interesse.

Ob saure Niederschläge den Boden  $\rightarrow$  Pflanzen-Transfer von Radionukliden gegenüber der Zeit der Kernwaffenversuche beeinflussen, hängt von Änderungen der Versauerung des Waldbodens ab.

- 6 Dosimetrie
- 6.1 Dosismessung zur Orts- und Personenüberwachung
- 6.1.1 Amtliche Personendosimetrie

S. Ugi

Die für die Personenüberwachung externer Stellen in Baden-Württemberg Ende 1984 eingerichtete amtliche Meßstelle für Festkörperdosimeter wurde nach Inkrafttreten der neuen Strahlenschutz-zuständigkeitsverordnung am 01.04.1986 zur sechsten eigenständigen Meßstelle in der Bundesrepublik. Damit war die zwischenzeitliche Tätigkeit im Auftrage der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) beendet. Nach der neuen Aufgabenverteilung verbleibt die gesamte Filmdosimetrie für Baden-Württemberg bei der bisherigen Meßstelle der LfU, während die Festkörperdosimetrie von der KfK-Meßstelle übernommen wurde.

Amtliches Personendosimeter ist das Photolumineszenzglasdosimeter in der Kugelkapselung, welches für eine Personenüberwachung auf Ganzkörperexposition durch Photonenstrahlung im Energiebereich oberhalb 45 keV eingesetzt wird.

Als zweites amtliches Dosimeter wird - entsprechend der Anforderungen 1.3. an die nach Landesrecht zuständigen Meßstellen- ein Thermolumineszenzdosimeter im Edelstahlring für die Teilkörperdosimetrie ausgegeben.

Als drittes amtliches Dosimeter ist das Albedo-Neutronendosimeter vorgesehen, dessen amtlicher Einführung vom Länderausschuß für Atomenergie zum Jahresende 1986 zugestimmt wurde. Dieses Dosimeter wird das bisherige Neutronenfilmdosimeter der LfU ablösen. Mit der Überwachung soll im Jahr 1987 begonnen werden.

Die Anzahl der mit Ganzkörperdosimetern überwachten Betriebe stieg im Berichtszeitraum von 49 auf 63, wobei sich die Auswertezahlen von 37 833 auf 46 579 erhöhten. Den überwiegenden Anteil stellen die monatlichen Auswertungen der Kernkraftwerke dar (Abb.6/1). Den kleinsten Anteil bilden die 25 Feuerwehren und Katastrophenschutzeinheiten, die im jährlichen Zeitraum überwacht werden.

Die in Abb. 6/1 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 Jahresmitte. Der damit verbundene Arbeitsaufwand ist nur mit Aushilfskräften zu bewältigen.

Die Auswertezahlen bei der im Januar begonnenen Teilkörperdosimetrie stiegen von anfänglich 400 auf ca. 600 im Monat, wobei derzeit 65 Kunden unseren Dosimeterservice in Anspruch nehmen. Nachdem in einem Rundschreiben die Gewerbeaufsichtsämter informiert wurden, wird eine weitere Erhöhung der Auswertezahlen von einem Informationsblatt erwartet, mit dem alle Bezieher von Film- oder Festkörperdosimetern auf die neue von der KfK-Meßstelle angebotene Teilkörperdosimetrie hingewiesen werden.

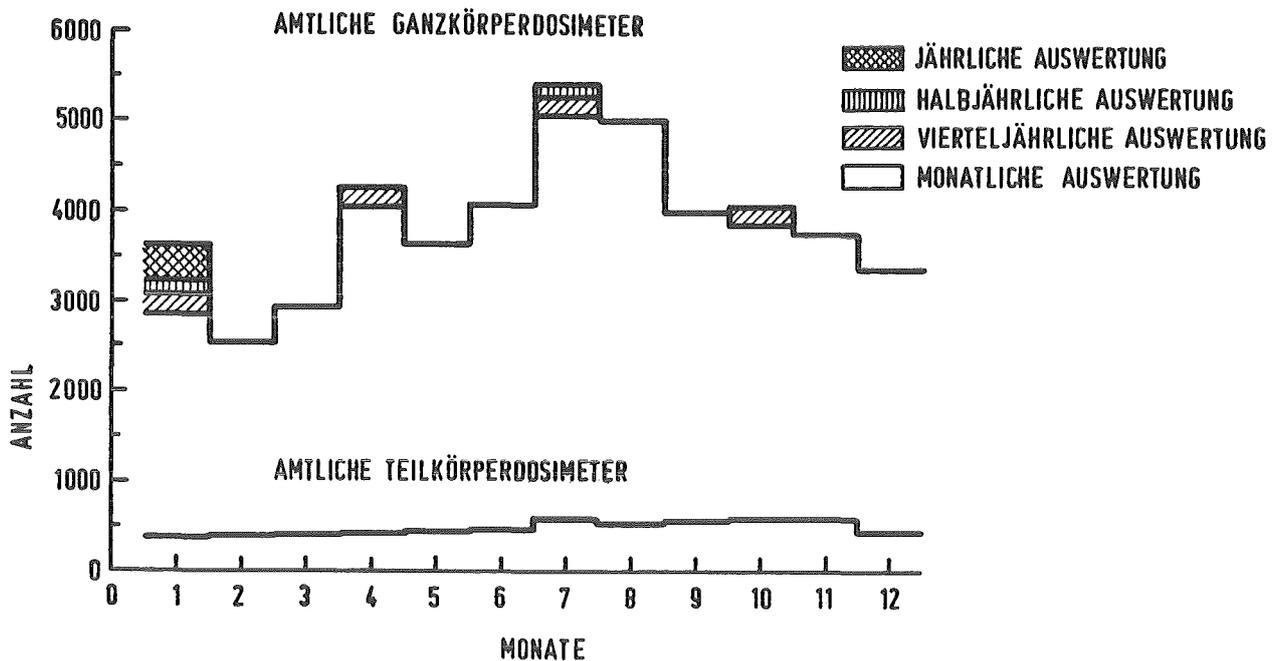


Abb. 6/1: Verlauf der Auswertezahlen 1986

Neben diesen amtlichen Dosimetern wird durch die Meßstelle eine größere Anzahl von nichtamtlichen Dosimeterüberwachungen und Meßverfahren angeboten, deren Vielfalt sich in einer umfangreichen Liste niederschlug, die an den potentiellen Kundenkreis verschickt wird.

Die nennenswerten Anteile der bisher in Anspruch genommenen Leistungen der Meßstelle sind in Tab. 6/1 gezeigt. Neben der Umgebungsüberwachung mit Thermolumineszenzdosimetern sind es die passiven Diffusionskammern zur Überwachung der Radonkonzentration, die einen wesentlichen Teil der nicht amtlichen Dosimeterauswertungen ausmachen. Erwähnenswert ist auch das nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl vom Institut für Strahlenschutz der Berufsgenossenschaften der Feinmechanik, Elektrotechnik und der chemischen Industrie empfohlene Kombinationsdosimeter, in dem sowohl Phosphatglas- als auch Thermolumineszenzdetektoren zum Einsatz kommen. Mit diesem Dosimeter werden Mitarbeiter deutscher Firmen ausgerüstet, die in der Gegend von Kiew tätig sind.

Zur Überprüfung der Fehlerbreite der Personendosisfeststellung unterliegen die Meßstellen den Vergleichsmessungen nach § 2, Abs. 1 der 2. Verordnung über die Eichpflicht von Meßgeräten. Die nach Landesrecht zuständigen Meßstellen haben deshalb jährlich an den Vergleichsmessungen teilzunehmen, die von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) veranstaltet werden.

Die in diesem Jahr sehr früh durchgeführte Vergleichsbestrahlung war vom Termin und den Bestrahlungswerten her sicher eine Reaktion auf die in die Öffentlichkeit getragene Diskussion von Teilergebnissen eines noch nicht veröffentlichten BMFT-Gutachtens, die hauptsächlich die Glaubwürdigkeit der Filmdosimetrie im unteren Dosisbereich in Zweifel zog. So lagen die Bestrahlungswerte durchschnittlich um den Faktor 10 niedriger wie in den vergangenen Jahren, also in einem Bereich, in dem nach den Anforderungen eine Meßwertabweichung bis zu 100 % zulässig ist. Unsere Ergebnisse mit dem Mittelwert 0,972 und der Standardabweichung 0,125 bei der Ganzkörperdosimetrie und dem Mittelwert 1,043 und der Standardabweichung 0,18 bei der Teilkörperdosimetrie bestätigen die Qualität der Dosimetriesysteme und ihrer Kalibrierung.

Amtliche Auswertung	Auswertezahl	Kundenzahl
Phosphatglas-Ganzkörperdosimeter	46 579	53
Thermolumineszenz-Teilkörperdosimeter	5 846	65
<b>Nichtamtliche Auswertung</b>		
Phosphatglas-dosimeter	1 122	10
Thermolumineszenz-dosimeter	1 649	13
Albedo-Neutronen-dosimeter	680	8
Radondiffusionskammern	441	10
Kernspurätzungen	1 614	1
Bereitstellung Kernspurfolien	19 200	1
(RPL + TL) - Dosimeter UdSSR-Unfall	260	9

Tab. 6/1: Serviceleistungen der Meßstelle 1986

Mit der Fertigstellung des Waschlabors für die Phosphatgläser, der Einrichtung eines Folienschneiderraums und der Bereitstellung eines kompletten Arbeitsplatzes für die elektrochemische Ätzung von Kernspurdetektoren sind die Ausbaumaßnahmen für die Meßstelle abgeschlossen. Die Steuerprogramme für ein neu aufgebautes Glasauswertegerät sind erstellt und nach dem momentanen Probebetrieb wird das Gerät in die Routine übernommen. Das Gerät verfügt über eine automatische Kalibriereinstellung und überwacht Anregungslicht, Dunkelstrom und Streulicht. Die für die zentrale Meßwertverarbeitung notwendige Datenbank ist installiert. Die Erstellung von Transferprogrammen für den Datenübertrag von den Auswertesystemen zum Zentralrechner ist erfolgt.

Da durch die Bestellung zur eigenständigen Meßstelle auch die bisher von der LfU gefertigte Jahresstatistik zu erstellen ist, werden derzeit Softwarewerkzeuge zur Lösung dieser Aufgaben bereitgestellt. Auch hier muß der große Arbeitsaufwand, z.B. bei Erstellung der Personenstammdaten durch zusätzliche Hilfskräfte bewältigt werden.

## 6.1.2 Routineauswertung von Personen- und Ortsdosimetern

B. Burgkhardt

Neben der amtlichen Dosimetrie werden Festkörperdosimeter in Eigenüberwachung sowie im Auftrag auswärtiger Stellen ausgewertet. Eingeschlossen sind Dosismessungen mit Festkörperdosimetern in der Umgebung kerntechnischer Anlagen und die Bereitstellung von 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:

- Phosphatglasdosimeter in der Kugelkapselung zum praktisch energieunabhängigen Nachweis der Photonenstrahlung im Energiebereich von 45 keV bis 10 MeV (siehe Abschn. 6.1.1).
- Thermolumineszenzdosimeter zur Personenüberwachung in Beta-Gamma-Mischstrahlungsfeldern. Es werden neutronenunempfindliche TLD700 ( ${}^7\text{LiF:Mg,Ti}$ ) in einer Kapsel der Fa. Alnor hinter einer Abdeckung von 30 mg/cm<sup>2</sup> und 450 mg/cm<sup>2</sup> verwendet und in einem automatischen Auswertesystem ausgewertet.
- Thermolumineszenzdosimeter zur Umgebungsüberwachung bestehend aus TLD700-Detektoren in einer Polyäthylenkapsel entsprechend einer Abdeckung von 500 mg/cm<sup>2</sup>.
- Thermolumineszenzdosimeter zur Teilkörperdosimetrie bestehend aus einem TLD700-Detektor in einem Edelstahl-Fingerring hinter einer Abdeckung von 7 mg/cm<sup>2</sup>. Fingerringdosimeter können bei Verwendung in Krankenhäusern ohne Verfälschung des Meßwertes gassterilisiert werden.
- Universelle Albedoneutronendosimeter, Type Alnor, mit TLD600 ( ${}^6\text{LiF:Mg,Ti}$ )- und TLD700-Thermolumineszenzdetektoren zur Personenüberwachung in Neutronen-Beta-Gamma-Mischstrahlungsfeldern werden seit Mitte 1985 automatisch ausgewertet (siehe Abschn. 6.3.2 und 6.3.3). Für spezielle Überwachungsaufgaben können die Albedodosimeter auch mit gammastrahlungsunempfindlichen Kernspurätzdetektoren sowohl anstelle der TL-Detektoren als auch zum getrennten Nachweis schneller Neutronen eingesetzt werden.
- Passive Neutronen-Äquivalentdosismesser, bestehend aus einer Polyäthylenkugel von 30 cm  $\varnothing$  mit einem thermischen Detektor im Zentrum. Als Detektoren können Thermolumineszenzdetektoren oder Kernspurdetektoren im Kontakt mit einem (n, $\alpha$ )-Konverter verwendet werden. Mit letzteren läßt sich die natürliche Neutronenstrahlung bei Expositionszeiten von einigen Monaten nachweisen.
- Radondosimeter mit Kernspurätzdetektoren zur Messung der mittleren Radonkonzentrationen in Wohnhäusern sowie innerhalb der Personenüberwachung in Bergwerken.
- 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.

Alle diese Dosimeter können bei der amtlichen Meßstelle für Festkörperdosimeter angefordert werden (siehe Abschn. 6.1.1).

Im Jahr 1986 wurden im Rahmen der KfK-Eigenüberwachung 2 440 Glasdosimeterauswertungen und 10 304 Thermolumineszenzdosimeterauswertungen durchgeführt.

Seit Januar 1982 erfolgt im Kernforschungszentrum Karlsruhe die Eigenüberwachung der Personen in der Dosimetergruppe A mit TL-Dosimetern in der Alnorkapsel und in der Gruppe B neben Stabdosimetern mit Glasdosimetern. Die TL-Dosimeter werden monatlich, die Glasdosimeter jährlich ausgewertet.

Zur Personenüberwachung in Neutronenfeldern wird seit 1982 das bis dahin von der amtlichen Meßstelle ausgegebene Neutronenfilmdosimeter durch das universelle Albedoneutronendosimeter ersetzt, welches jetzt in Eigenüberwachung monatlich ausgewertet wird.

In Tab. 6/2 werden für das Albedoneutronendosimeter die Ergebnisse der Eigenüberwachung ab 1982 und für auswärtige Stellen ab 1985 wiedergegeben. Beim Umgang mit einer  $^{252}\text{Cf}$ -Quelle wurde 1985 einmalig der Jahresgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B überschritten. Ende 1986 erfolgte die Zulassung des Albedodosimeters als amtliches Dosimeter. Es wird in naher Zukunft das Neutronenfilmdosimeter innerhalb der amtlichen Personenüberwachung ersetzen. Der routinemäßige Einsatz des Albedoneutronendosimeters hat sich besonders in Bereichen mit Cf- und Pu-Quellen höherer Aktivität bewährt, war aber auch dort sinnvoll, wo geringe Personenexpositionen zu erwarten sind und Abschätzungen der Neutronendosis aufgrund von Dosisleistungsmessungen unzureichend sind.

	Jahr	Anzahl der Auswertungen	Anzahl/a $H_n > 0,02 \text{ mSv}$	$(H_n)_{\text{max}}$ (mSv)	$H_n/H_Y$ <sup>1)</sup>	Maximale Jahresdosis $H_n$ pro Person
KfK	1982	550	12	2,2	0,5-2	2,2 mSv/a
	1983	840	16	1,9	0,5-5	3,5 mSv/a
	1984	1 140	19	2,6	0,8-6	11,3 mSv/a
	1985	1 150	49	20,6	0,3-12	33,0 mSv/a <sup>2)</sup>
	1986	1 688	40	1,3	0,2-5	5 mSv/a
Extern	1985	508	23	0,9	0,1-5	0,9 mSv/a
	1986	650 <sup>3)</sup>	83	2,4	0,2-5	2,4 mSv/a

<sup>1)</sup> Verhältnis Neutronen-Äquivalentdosis  $H_n$  zur Photonen-Äquivalentdosis  $H_Y$ , <sup>2)</sup> Überschreitung des Grenzwertes der Jahresdosis für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B, <sup>3)</sup> Monatliche, vierteljährliche und jährliche Überwachungszeiträume

Tab. 6/2: Personenüberwachung mit Albedodosimetern im KfK und für auswärtige Stellen mit monatlicher Auswertung

Personendosen durch Neutronen wurden insbesondere beim Umgang mit Cf-252-Quellen und bei Arbeiten am Zyklotron gefunden. Am Zyklotron wurden für den getrennten Nachweis ausschließlich schneller Neutronen zusätzliche Makrofol-Kernspurdetektoren in der Albedokapsel verwendet. Die Auswertung der über fünf Monate getragenen Kernspurdetektoren ergaben keine Neutronen-Äquivalentdosen oberhalb der Nachweisgrenze von 0,2 mSv. Mit den monatlich ausgewerteten TL-Detektoren des Albedodosimeters werden in drei Fällen Neutronen-Äquivalentdosen von 0,2 mSv ermittelt. Die an sieben auswärtigen Stellen ausgegebenen Albedodosimeter wurden zur Personenüberwachung im Brennelement-Kreislauf, an Beschleunigern, in einem Reaktor und beim Umgang mit Spaltneutronenquellen verwendet.

Zur Ermittlung der natürlichen Strahlenexposition sowie eines zusätzlichen Einflusses durch kerntechnische Anlagen werden in der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe seit 23 Jahren Glasdosimeter in der Kugelskapselung und seit 15 Jahren TL-Dosimeter an etwa 230 Meßstellen

exponiert (siehe Abschn. 6.2.5). Die Dosimeterauswertungen zur Umgebungsüberwachung des KfK und in größerem Umfang im Auftrag von Kernkraftwerken und kerntechnischen Anlagen werden weitgehend nach dem im Normblatt DIN 25 483 empfohlenen Verfahren durchgeführt.

### 6.1.3 Vergleichsbestrahlungen

B. Burgkhardt

HS/D hat im Berichtszeitraum wieder an mehreren nationalen und internationalen Vergleichsbestrahlungen für Festkörperdosimeter zur Personen- und Umgebungsüberwachung teilgenommen.

- Seit 1979 beteiligt sich HS/D an den jährlichen Photonen-Vergleichsbestrahlungen für Personendosimeter bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig. Ab 1981 erfüllt HS damit auch einen Teil der behördlichen Auflage zur Genehmigung der Eigenüberwachung von KfK-Mitarbeitern und ab 1985 auch die entsprechenden Anforderungen im Zusammenhang mit dem Betrieb einer amtlichen Meßstelle. 1986 wurden 30 Dosimeter im Photonenenergiebereich von 31 keV bis 1,2 MeV und im Dosisbereich 0,2 mSv bis 950 mSv bestrahlt, wobei 65 % der Dosiswerte unter 1 mSv lagen. Die Ergebnisse unserer Auswertungen für das Albedoneutronendosimeter und das Beta-Gamma-Dosimeter wurden hauptsächlich bestimmt durch die Energieabhängigkeit der LiF-Detektoren, die in diesen Kapselungen ohne zusätzliche Energiekompensationsfilter benutzt werden. Der Mittelwert aller auf den Sollwert bezogenen relativen Anzeigen war 1,15 bei einer Standardabweichung von 25 %. Eine Verbesserung der Energieabhängigkeit durch Änderung der Kapsel wird HS/D durchführen, sobald die z.Zt. in der Diskussion stehenden neuen Meßgrößen für den Strahlenschutz verbindlich eingeführt werden.
- Bei einer von der Gesellschaft für Umweltforschung (GSF) und dem Arbeitskreis AKD des Fachverbandes für Strahlenschutz durchgeführten Vergleichsmessung bei höheren Dosen beteiligte sich HS/D mit dem routinemäßig eingesetzten Edelstahlring und dem Beta-Gamma-Dosimeter, beide mit LiF-Detektoren, sowie dem Phosphatglasdosimeter in der Kugelkapselung. Die Dosimeter wurden mit einer Co-60-Gammastrahlung und einer Röntgenstrahlung der Energie 49 keV im Dosisbereich 100 mSv bis 3 900 mSv bestrahlt. Unser Phosphatglasdosimeter zeigte relativ zum Sollwert einen Mittelwert von 0,96 bei einer Standardabweichung von 8 %. Bei den LiF-Dosimetern hingegen wurden bei etwa gleichem Mittelwert höhere Standardabweichungen von 15 % und 23 % gefunden, die insbesondere auf die Energieabhängigkeits- und Supralinearitätseigenschaften dieser Detektoren zurückzuführen sind.
- Beim 8. internationalen Vergleich für Umgebungsdosimeter des US-Department of Energy erfolgte die Bestrahlung der Dosimeter in einem Gelände mit einer typischen Umgebungsstrahlung und an einem zweiten sandigen Standort in der Nähe eines Sees mit extrem tiefem terrestrischem Strahlenanteil sowie im Labor in einem kalibrierten Cs-137-Strahlenfeld. Die entsprechenden Referenzdosen betragen 0,297 mSv und 0,104 mSv sowie 0,172 mSv. Die von HS/D verwendeten Dosimeter zeigten im Mittel folgende Abweichung von den Referenzwerten: <sup>7</sup>LiF-TLD700-Thermolumineszenzdosimeter 9 µSv, CaF<sub>2</sub>:Dy-TLD200-Thermolumineszenzdosimeter 13 µSv und das Phosphatglasdosimeter in der Kugelkapselung 22 µSv.
- 1986 führte die EG ein "Vergleichsprogramm für im Strahlenschutz benutzte Beta-Personendosimeter" durch. Die Dosimeter wurden in Beta-Gamma-Mischstrahlungsfeldern der Radionuklide Cs-137 (Gammastrahlung 660 keV) sowie Sr-90/Y-90, U-238, TL-204 und Pm-147 (Mittlere Beta-Energien ca. 0,8 MeV, 0,7 MeV, 0,24 MeV und 0,06 MeV) unter einem Strahleneinfallswinkel von 0°, 30° und 60° und im Dosisbereich 1-10 mSv bestrahlt. Die Bestrahlungsdaten waren den

Teilnehmern bei der Auswertung unbekannt. HS/D beteiligte sich mit dem routinemäßig eingesetzten Stahlfingerring, der jedoch mit zwei TLD700 der Dicke 0,4 mm (siehe Abschn. 6.3.2) anstelle eines TLD700 der Dicke 0,9 mm, abgedeckt mit einer Schrumpffolie von 7 mg/cm<sup>2</sup>, verwendet wurde. Mit Hilfe des Meßwertverhältnisses der beiden Detektoren konnte das zu geringe Ansprechvermögen dieses Dosimeters gegenüber der Betastrahlung von TL-204 ausreichend korrigiert werden. Als Ergebnis wurde für die relative Äquivalentdosis-Anzeige  $H(\text{Meßwert})/H(\text{Referenzwert})$  ein Mittelwert von 1,07 mit einer Standardabweichung von 19 % aus 36 Bestrahlungsbedingungen gefunden. Demnach ist dieses Dosimeter für Teilkörperbestrahlungen im Beta-Gamma-Mischstrahlungsfeld mit Betaenergien oberhalb ca. 700 keV gut geeignet. Ein Fingerring zum Nachweis von Beta-Strahlung im Energiebereich des Pm-147 erfordert eine dünnere Abdeckfolie (< 3 mg/cm<sup>2</sup>) und einen dünneren Detektor (ca. 0,1 mm Dicke).

## 6.2 Photonendosimetrie

### 6.2.1 Umbau des UV-Laserauswertegerätes Toshiba FGD-8 für Flachglasdosimeter

H.-G. Röber

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Glasdosimetrie mußten konstruktive Änderungen am oben genannten Toshiba-Auswertegerät durchgeführt werden, da das Gerät vom Hersteller nur für die Glasgröße 8x8x4,7 mm<sup>3</sup> konzipiert wurde und die meßtechnischen Eigenschaften des Laserauswertegerätes bei Verwendung des Flachglases untersucht werden sollte. Dies erforderte u.a. die Neukonstruktion von Zusatzeinrichtungen für die Glashalterung sowie für den UV-Anregungs- und Fluoreszenzstrahlengang.

Die Glashalterung ist so abgeändert worden, daß jede Meßposition nur noch aus einem Ringsegment besteht (Abb. 6/2 a). Bei der ursprünglichen Ausführung waren alle sechs Meßpositionen auf einem Vollring untergebracht. Auf den einzelnen Ringsegmenten können nun verschiedene Glasgrößen mit variabler Positionierung in Querrichtung zum Laserstrahl als auch die Schrägstellung des Dosimeters für Betadosis-Messungen adaptiert werden (Abb. 6/2 b). Entsprechend der Querschnittsfläche des Flachglases von 16x1,5 mm<sup>2</sup> kann jetzt durch eine zusätzliche Laserblende auch das Profil des Laserstrahlers verändert werden. Um eine unnötige Aufweitung des Laserstrahlenbündels zu vermeiden und den störenden Lichthof von der Anregungsebene fernzuhalten, wurde in den UV-Strahlengang eine Tubusblende eingefügt. Die Tubusblende wurde so angeordnet, daß die Lichtaustrittsebene etwa 2 mm vor der Anregungsebene positioniert ist.

Änderungen des Streulichtes, wie sie bei Dosimeterwechsel auftreten können, müssen vom Photomultiplier ferngehalten werden. Mit einer auf den Photomultiplier aufsteckbaren Tubusblende konnte diese Aufgabenstellung gelöst werden. Die Position der eigentlichen Blende befindet sich wieder in unmittelbarer Nähe des Dosimeters. Als Besonderheit der Photomultiplierblende wurde eine Wechselblendeneinrichtung für verschiedene Blenden vorgegeben.

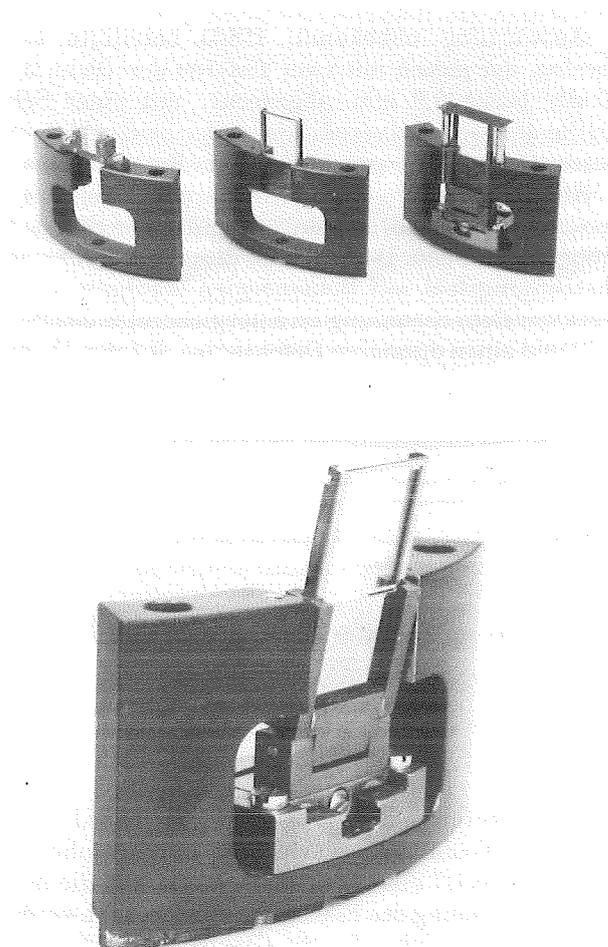


Abb. 6/2: Geänderte Glashalterung für Laserauswertegerät FGD-8

### 6.2.2 Eigenschaften von Phosphatglasdosimetern bei gepulster UV-Laseranregung

E. Piesch, B. Burgkhardt, M. Fischer, H.-G. Röber, S. Ugi

Zur Anregung der strahleninduzierten Fluoreszenz in Phosphatglasdosimetern wird im Toshiba-Auswertegerät FGD-8 erstmals ein gepulster UV-Laser eingesetzt. Vorteil der Laserauswertung ist die Herabsetzung der Voranzeige unbestrahlter Gläser auf einen Wert von etwa  $10 \mu\text{Sv}$ . Dies wird dadurch erreicht, daß unmittelbar nach dem UV-Laserimpuls von 5 ns Dauer die eigentliche Messung erst nach 2  $\mu\text{s}$  erfolgt. Damit wird eine rasch abklingende Kurzzeitkomponente der Voranzeige unterdrückt. Die mikroprozessorunterstützte Auswertung berücksichtigt die Messung der Fluoreszenzintensität in zwei Zeitintervallen von 2-22  $\mu\text{Sv}$  und 40-60  $\mu\text{Sv}$ . Der letzte Meßwertanteil wird zur Subtraktion einer von der strahleninduzierten Fluoreszenz der Gläser unabhängigen Langzeitkomponente der Voranzeige herangezogen.

Nach Umbau des Auswertegerätes auf Flachglasdosimeter der Größe 16x16x1,5 mm<sup>3</sup> wurde insbesondere die Reproduzierbarkeit der Dosismessung im unteren Dosisbereich untersucht. Regenerierte Gläser ergaben eine Voranzeige zwischen 5 und 15 µSv. Abb. 6/3 zeigt die Standardabweichung s(H) der Dosismessung in Abhängigkeit von der Dosisanzeige H. Sie wurde aus 10 Meßwerten mit einer entsprechenden Meßunsicherheit von ± 25 % ermittelt und folgt innerhalb dieser Fehlergrenze dem rechnerisch ermittelten Kurvenverlauf (gestrichelte Kurve). Die in der Abbildung wiedergegebenen Standardabweichungen (ausgezogene Kurven) beruhen auf einer konservativen Annahme für die Reproduzierbarkeit der Voranzeige unbestrahlter Gläser von 10, 4 bzw. 2,5 µSv bei einer Laserauswertung mit 10, 60 und 200 Laserpulsen pro Meßwert. Im oberen Dosisbereich, d.h. bei Voranzeigen von 1 mSv, zeigen konventionelle Auswertegeräte eine vergleichbare Meßunsicherheit.

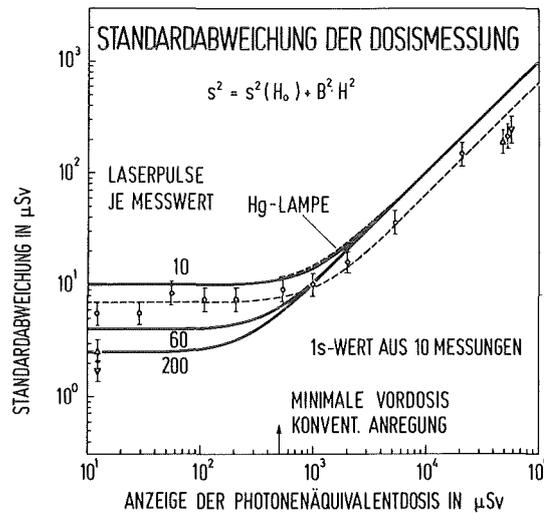


Abb. 6/3: Standardabweichung in Abhängigkeit von der Dosisanzeige für das Flachglasdosimeter im Auswertegerät Toshiba FGD-8

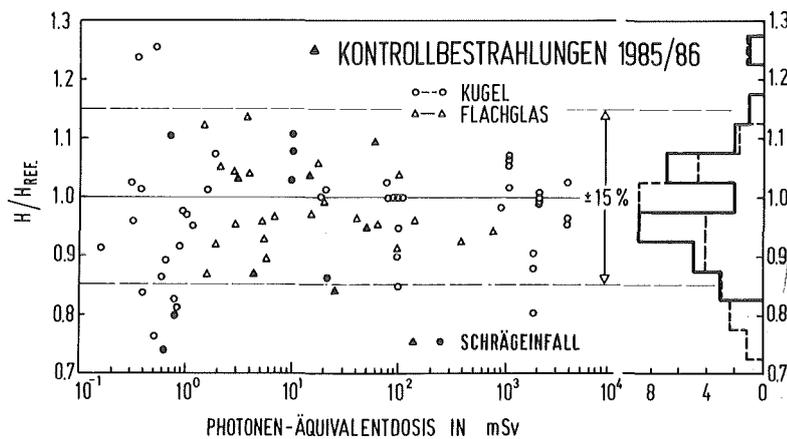


Abb. 6/4: PLD-Meßergebnisse von Kontrollbestrahlungen mit verschiedenen Photonenergien

Tab. 6/3 zeigt die Standardabweichung der Dosismessung für die entsprechende Wahl der Laseranregung bei unterschiedlicher Voranzeige. Die kleinste nachweisbare Dosis  $H_{NWG}$  für eine Dosisdifferenzmessung wurde hier als das Zweifache der zufälligen Komponente der Meßunsicherheit angenommen. Für die Anwendung in der Personendosimetrie und Umgebungsüberwachung wurde die Reproduzierbarkeit der Dosismessung unter der Annahme ermittelt, daß nach einem Überwachungszeitraum von einem Monat die Strahlenexposition einer Person 50  $\mu\text{Sv}$  und der Beitrag der natürlichen Strahlung 60  $\mu\text{Sv}$  beträgt. Die Ergebnisse zeigen, daß die natürliche Strahlenexposition von etwa 60  $\mu\text{Sv}$  nach einem Monat beispielsweise mit einer relativen Standardabweichung von  $\pm 6\%$ , eine Personendosis von 110  $\mu\text{Sv}$  hingegen, die einen natürlichen Dosisanteil von 60  $\mu\text{Sv}$  enthält, mit  $\pm 3,6\%$  bestimmt werden kann.

Auswertung	Voranzeige $H_0$ ( $\mu\text{Sv}$ )	$H_{NWG}^{1)}$ ( $\mu\text{Sv}$ )	$H_{nat} = 60 \mu\text{Sv}$ $s(H_{nat}-H_0)$	$H_p = 110 \mu\text{Sv}$ $s(H_p-H_0)$
UV-Laser (Pulse/Messung)				
10	< 100 $\mu\text{Sv}$	30	$\pm 25\%$	$\pm 13,5\%$
60		12	$\pm 10\%$	$\pm 6\%$
200		7	$\pm 6\%$	$\pm 3,6\%$
10	< 1 mSv	50	$\pm 42\%$	$\pm 23\%$
200		40	$\pm 33\%$	$\pm 18\%$
Hg-Lampe				
	> 1 mSv <sup>2)</sup>	50	$\pm 42\%$	< $\pm 23\%$

<sup>1)</sup>  $H_{NWG} = 2 s(H-H_0)$  unter Berücksichtigung der Voranzeige  $H_0$ , <sup>2)</sup> Minimale Voranzeige etwa 1 mSv

Tab. 6/3: Relative zufällige Komponente der Meßunsicherheit für eine Dosismessung in der Umgebungsüberwachung und Personendosimetrie nach einem Überwachungszeitraum von einem Monat bei Annahme von  $H_{nat} = 60 \mu\text{Sv}$  und  $H_p = H_{nat} + 50 \mu\text{Sv}$ , Toshiba-Auswertegerät FGD-8, Glasgröße 16x16x1,5 mm<sup>3</sup>

Das für eine automatische Auswertung vorgesehene Flachglasdosimeter wurde auf die gleichzeitige Anzeige verschiedener Meßgrößen insbesondere der ICRU-Meßgröße  $H'(10)$  optimiert. Ein Einzeldetektor ermöglicht danach die energieunabhängige Dosismessung im Photonenenergiebereich 15 keV bis 1,2 MeV. Durch Änderung der Blende vor dem Photomultiplier kann außerdem die PL-Intensität in Teilbereichen des Glases bestimmt und damit eine Strahlenqualität ermittelt werden.

In Kombination mit den bekannten Eigenschaften von Glasdosimetern, nämlich Langzeitstabilität der Speicherung, Linearität des Meßbereiches, Wiederholbarkeit der Messung, Direktanzeige verschiedener Meßgrößen sowie einer Strahlenqualität führt die UV-Laseranregung des Flachglasdosimeters im Toshiba-Auswertegerät FGD-8 zu einer bemerkenswerten Verbesserung der dosimetrischen Eigenschaften:

- eine Glasreinigung ist nicht mehr erforderlich,
- die Vordosis beträgt nach Regenerierung 5 bis 15  $\mu\text{Sv}$ ,

- die kleinste nachweisbare Dosis beträgt 30  $\mu\text{Sv}$  (10 Laserpulse pro Auswertung) bzw. 7  $\mu\text{Sv}$  (200 Laserpulse pro Auswertung),
- die relative zufällige Komponente der Meßunsicherheit der Dosismessung beträgt  $< 1 \%$  oberhalb 1 mSv,
- die relative Energieabhängigkeit der Dosisanzeige beträgt  $\pm 15 \%$  im Photonenenergiebereich 15 keV bis 1,2 MeV.

PTB-Kontrollmessungen 1985 ergeben für das Dosis-Meßwertverhältnis  $H(\text{Meßwert})/(\text{Referenzwert})$  einen Mittelwert und eine Standardabweichung von  $R = 0,986 \pm 9\%$  (siehe Abb. 6/4).

Ein modernes PLD-System mit UV-Laseranregung und automatischer Auswertung, das z.Zt. von der Firma Toshiba entwickelt wird, bietet nach 25 Jahren Routineeinsatz von Glasdosimetern neue Perspektiven für eine Auswertung in der Personen- und Umgebungsüberwachung und eine wünschenswerte Bereicherung der Strahlenschutzdosimetrie.

### 6.2.3 Vorversuche zum Betastrahlungsnachweis in Phosphatgläsern

B. Burgkhardt, M. Fischer

Das routinemäßig eingesetzte Phosphatglas-Kugeldosimeter ist wegen seines dickwandigen perforierten Energiekompensationsfilters nicht für den Nachweis von Betastrahlung geeignet. Das in der Entwicklung stehende Flachglasdosimeter hingegen verwendet eine Kapselung mit einer Teilabdeckung aus dünnem Plastik. Damit kann auch energieärmere Betastrahlung die Glasoberfläche erreichen und mit einer ausreichenden Empfindlichkeit nachgewiesen werden. Die Messung der Fluoreszenzintensität in oberflächennahen Glasschichten scheiterte bisher an dem insbesondere an den Glaskanten gestreuten UV-Anregungslicht. Die neue Auswertetechnik mit gepulster UV-Laseranregung eliminiert jedoch das gestreute Anregungslicht.

Im folgenden werden die ersten Ergebnisse über den Nachweis von Betastrahlung in Flachgläsern wiedergegeben. Die Auswertung erfolgte in dem modifizierten Glasauswertegerät FGD-8 mit gepulster Lasertechnik. Flachgläser, bestrahlt mit Cs-137-Photonen sowie mit Betastrahlung der mittleren Energie von 0,8 MeV und 0,24 MeV der Radionuklide Sr-90/Y-90 bzw. Tl-204, wurden mit einem ausgeblendeten UV-Laserstrahl des Querschnittes  $7 \times 0,2 \text{ mm}^2$  in Richtung des Strahleneinfalles gesannt. Abb. 6/5 zeigt gemessene Fluoreszenzprofile in Abhängigkeit von der Glasdicke im Vergleich mit berechneten Profilen. Die zusätzlichen Überhöhungen bei den gemessenen Profilen in der Nähe der Glaskanten sind nur zum Teil mit eventuellen Lichtreflexionen im Glas zu erklären. Der Abfall der Fluoreszenzintensität mit der Glastiefe konnte bei Photonenstrahlung beispielsweise auf den Einfluß einer einseitigen Plexiglasabdeckung während der Bestrahlung zurückgeführt werden. Auch bei Betastrahlung sind Fluoreszenzerhöhungen auf der Phantomseite des Glases erkennbar.

Durch die Ausblendung des UV-Strahles zur Anregung oberflächennaher Glasbereiche wird die Anzeige bei Photonenstrahlung auf 20 % reduziert. Das relative Beta-Ansprechvermögen für Tl-204 gemessen im Maximum der Fluoreszenzanzeige beträgt demgegenüber 30 %. Im Vergleich dazu zeigt ein Thermolumineszenzdosimeter der Dicke 0,9 mm ein entsprechendes relatives Ansprechvermögen für Tl-204 von 20 %.

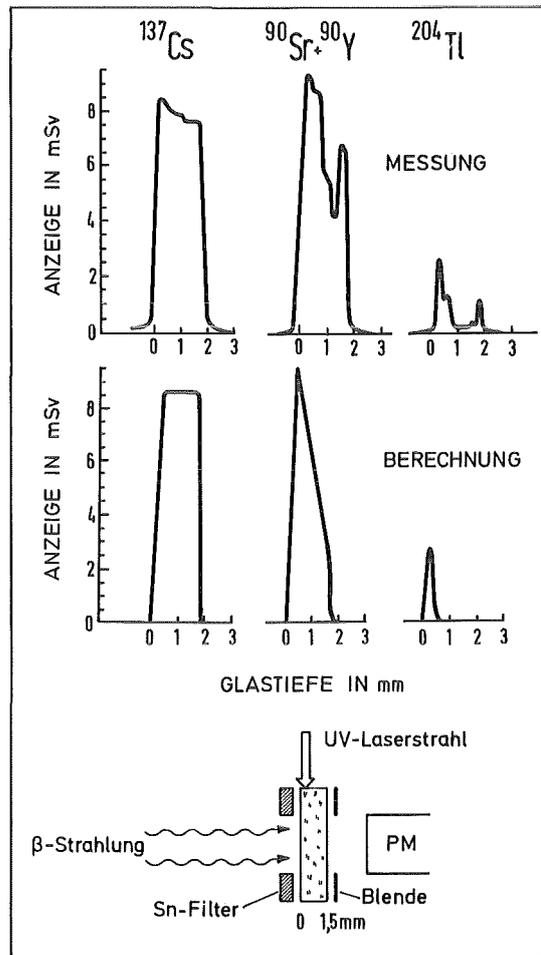


Abb.6/5: Gemessene und berechnete Fluoreszenzprofile von Cs-137, Sr-90/Y-90 und Tl-204 in einem Flachglas von 1,5 mm Dicke

#### 6.2.4 Ansprechvermögen einiger Dosisleistungsmeßgeräte gegenüber 6-MeV-Photonen

B. Burgkhardt

Das Ansprechvermögen von Dosisleistungsmeßgeräten gegenüber 6 MeV-Photonen ist z.B. beim Einsatz an Reaktoren von Interesse, wo im Primärkühlkreislauf über die Kernreaktion  $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$  Photonen mit einer mittleren Energie von 6,1 MeV entstehen. Unsere in Tab. 6/4 aufgeführten Geräte wurden bei der PTB in Braunschweig in einem Photonenfeld der mittleren Energie von 6,23 MeV kalibriert. Die Photonen werden durch die Bestrahlung eines  $\text{TaF}_6$ -Targets mit Protonen der Energie 1 393 keV erzeugt.

Aus der von der PTB angegebenen Photonenfluenz läßt sich mit Hilfe des Massen-Energieabsorptionskoeffizienten in Luft die Photonen-Äquivalentdosis am Meßort mit einer Meßunsicherheit von etwa  $\pm 15\%$  (resultierende Standardabweichung) bestimmen.

Die Ergebnisse in Tab. 6/4 zeigen, daß das 6 MeV-Ansprechvermögen von GM- und Proportionalzählrohren generell um mehr als den Faktor 2 höher ist als das der Cs-137-Photonenstrahlung. Beim Szintillationsdetektor wird andererseits ein zu geringes Ansprechvermögen gegenüber 6 MeV-Photonen gefunden, weil die Photomultiplier hier Sättigungseffekte zeigen. Wegen der geringeren Hochspannung in den Meßbereichen für höhere Dosisleistungen tritt dieser Effekt hier nicht auf. Das Ansprechvermögen gegenüber 6 MeV-Photonen ist dem für kosmische Strahlung sehr ähnlich (siehe IIS-Jahresbericht 1984) und deshalb auch bei Anwendung der Geräte in der Umgebungsüberwachung von Interesse. Mindestens ein Hersteller von Szintillationsmeßgeräten bietet inzwischen Geräte an, die auch in den unteren Meßbereichen bei 6 MeV-Photonen und kosmischer Strahlung keine Sättigungseffekte im Photomultiplier mehr zeigen.

Detektortyp	Gerätetyp	Ansprechvermögen für 6 MeV-Photonen <sup>1)</sup>
Szintillationszähler	Halle Type 7201	0,66 <sup>2)</sup>
	MAB Type 6401	0,69 <sup>3)</sup>
	MAB Type 6401	1,25 <sup>4)</sup>
Proportionalzähler	Berthold Type LB 6005	2,2
	Berthold Type LB 6123	2,7
GM-Zählrohr	Berthold Type BZ 120	2,9

<sup>1)</sup> bezogen auf eine Cs-137 Kalibrierung, <sup>2)</sup> Gerät ohne angepaßte Elektronik für den verbesserten Nachweis von hochenergetischer Strahlung, <sup>3)</sup> für Meßbereiche  $\leq 10 \mu\text{Sv/h}$  (Sättigungseffekte durch zu hohe Hochspannung am PM), <sup>4)</sup> Meßbereiche  $\geq 30 \mu\text{Sv/h}$

Tab. 6/4: Das Ansprechvermögen von Gammadosisleistungsmeßgeräten gegenüber 6 MeV-Photonen für die Umgebungsüberwachung

#### 6.2.5 Nachweis von Dosiserhöhungen mit Thermolumineszenzdosimetern in der Umgebungsüberwachung

B. Burgkhardt

Aus den langjährigen TLD-Ergebnissen zur Messung der natürlichen Umgebungsstrahlung läßt sich abschätzen, welche zusätzlichen Strahlenexpositionen mit den verwendeten Dosimetriesystemen noch nachweisbar sind. Dazu werden die Halbjahresergebnisse von je zwei Detektoren an 54 kreisförmig mit einem Radius von 3 km um das KfK angeordneten Meßorten herangezogen. Abb. 6/6 zeigt die für die

verschiedenen Meßorte über sechs halbjährliche Überwachungsperioden gemittelten Ortsdosen mit den jeweiligen Standardabweichungen. Die pro Meßort gemessene maximale Dosisänderung pro Halbjahr wird in der Häufigkeitsdarstellung in Abb. 6/7 verglichen mit der Anzeigedifferenz der beiden am gleichen Meßort exponierten TL-Detektoren. Aus den beiden Abbildungen ergibt sich:

- Die Anzeigedifferenz der TLD-Pärchen für alle Meßorte beträgt pro Überwachungsperiode im Mittel  $\pm 15 \mu\text{Sv}$ . Dieser Wert entspricht der Reproduzierbarkeit der Dosisanzeige mit dem Dosimetriesystem in Bezug auf den individuellen Detektor und nur einer Auswertung.
- Der Mittelwert der maximalen Anzeigeänderungen, die für jeden Meßort über sechs Halbjahre bestimmt wurden, zeigt einen Wert von  $\pm 30 \mu\text{Sv}$ . Dieser Wert entspricht der Gesamtmeßunsicherheit, die z.B. jahreszeitlich bedingte Schwankungen des natürlichen Strahlenpegels, das Fading der Detektoranzeige, Kalibrierfehler und die Anzeigestabilität des Auswertegerätes einschließt. Der größte Anteil des Gesamtmeßfehlers ergibt sich aus der jährlichen Änderung des Mittelwertes für alle Meßorte.
- Jedem Meßort kann ein ortsspezifischer Wert der Ortsdosis durch natürliche Strahlung zugeordnet werden, der im Extremfall (Meßort 35)  $150 \mu\text{Sv}$  vom Mittelwert aller Meßorte abweichen kann. Die Kenntnis des langjährigen Mittelwertes der Dosisanzeige pro Meßort verbessert den Nachweis zusätzlicher Dosisanteile, die dann u.U. kleiner sein dürfen als Dosisänderungen innerhalb aller betrachteten Meßorte.

An vier der 54 Meßorte läßt sich aus den Meßwerten des Überwachungszeitraumes April-Oktober 1986 ein zusätzlicher mittlerer Dosisanteil von  $67 \mu\text{Sv} \pm 20 \mu\text{Sv}$  als Folge des Tschernobyl-Unfalls von der langjährig gemittelten Anzeige und ihrer maximalen Änderung jeder dieser Orte deutlich trennen. Die restlichen 50 Meßorte konnten hier nicht ausgewertet werden, da sie aus Rationalisierungsgründen 2 Wochen vor dem Tschernobyl-Unfall abgebaut wurden.

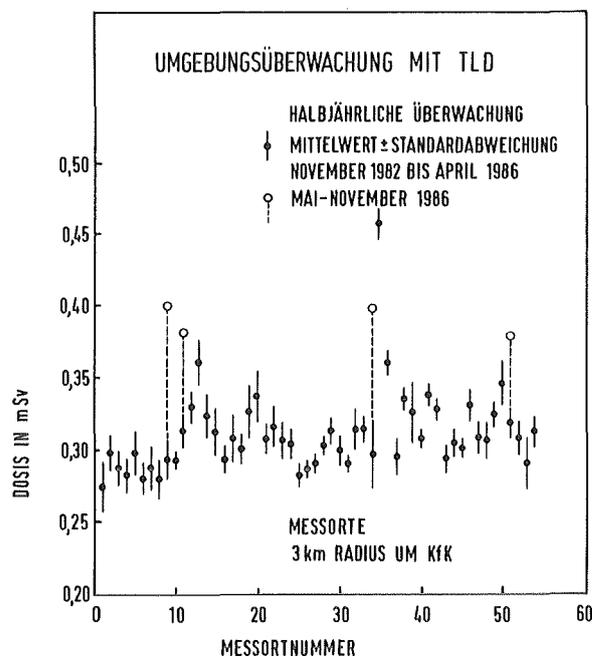


Abb. 6/6: Langzeit-Dosisprofil der kreisförmig um das KfK angeordneten Meßorte und Meßergebnisse der halbjährlichen Überwachung nach dem Tschernobyl Unfall

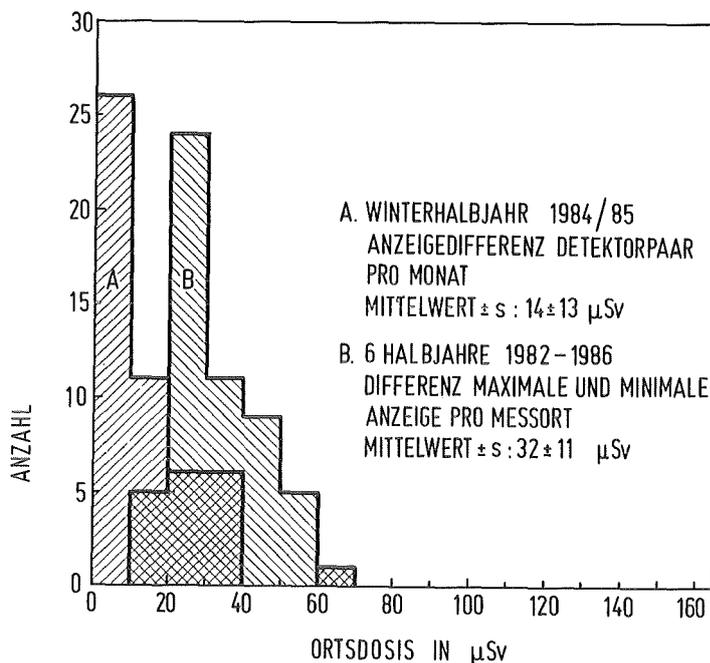


Abb. 6/7: Häufigkeitsverteilung von TLD-Anzeigendifferenzen in der KfK-Umgebungsüberwachung für 54 Meßorte, Ring von 3 km Radius

### 6.3 Neutronendosimetrie

#### 6.3.1 Die Energieabhängigkeit von He-3-Proportionalzählern in Moderatorokugeln unterschiedlichen Durchmessers

M.I. Al-Jarallah, B. Burgkhardt

Die Einkugelalbedomeßtechnik benutzt die Anzeigen eines Detektors für thermische Neutronen im Zentrum und an der Oberfläche einer Moderatorokugel zur Ermittlung der Neutronen-Äquivalentdosis und weiterer Neutronenfeldparameter.

Ein Äquivalentdosisleistungsmeßgerät nach dem Prinzip der Einkugelalbedomeßtechnik ist von besonderem Interesse für die Feldkalibrierung von Albedodosimetern (siehe Abschn. 6.3.4). Für die Optimierung des Kugeldurchmessers und der Detektorpositionen im Hinblick auf eine energie- und richtungsunabhängige Anzeige der Äquivalentdosis wurden Polyäthylenkugeln von 20 cm, 25 cm und 30 cm Durchmesser mit He-3-Zählrohren von etwa 0,8 cm<sup>3</sup> empfindlichem Volumen bei der PTB in Braunschweig mit monoenergetischen Neutronen im Energiebereich von 144 keV bis 14 MeV bestrahlt. Das Neutronen-Äquivalentdosisansprechvermögen für den Zentrumsdetektor (c) und den Albedodetektor (i) für frontalen Strahleneinfall ist in Abb. 6/8 wiedergegeben. Der Verlauf des Albedodetektor-Ansprechvermögens ist im hier gemessenen Energiebereich annähernd unabhängig vom

Kugeldurchmesser und vergleichbar mit dem des Karlsruher Albedo-Personendosimeters. Die endgültige Geometrie des Zählers und seine Energieabhängigkeit der Äquivalentdosisanzeige kann jedoch erst ermittelt werden, wenn zusätzliche Kalibrierungen mit thermischen Neutronen und Neutronen im Energiebereich von 10 keV bei der PTB wieder möglich sind.

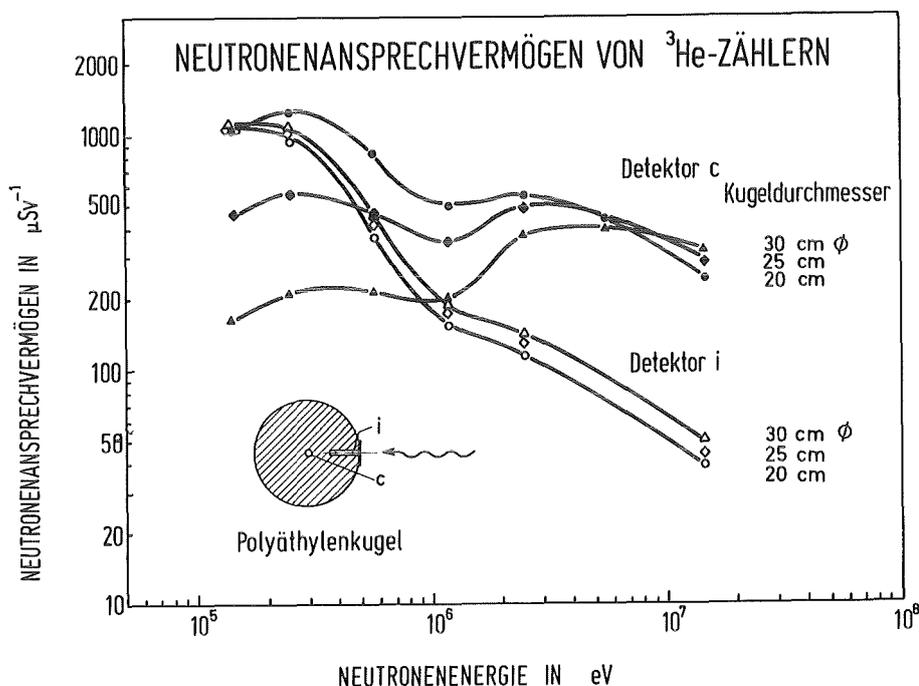


Abb. 6/8: Das Neutronen-Äquivalentdosisansprechvermögen für He-3-Zählrohre in Polyäthylenkugeln unterschiedlichen Durchmessers

### 6.3.2 Vergleich des Photonen-Neutronen-Ansprechvermögens von TLD600/700-Detektoren unterschiedlicher Dicke

B. Burgkhardt, W. Schwarz

Die KfK-Albedoneutronendosimetrie verwendet  $^7\text{LiF}$ -Detektoren zur Messung der Photonen-äquivalentdosis und  $^6\text{LiF}$ -Detektoren zum Nachweis von Neutronen über die Reaktion  $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$ . Wegen des hohen Wirkungsquerschnittes der  $^6\text{Li}$ -Reaktion werden insbesondere thermische Neutronen in den oberflächennahen Schichten des Detektors absorbiert und nachgewiesen. Bei einer Zehntelwertschicht von etwa 0,4 mm leisten tiefere Detektorschichten praktisch keinen Beitrag zur Neutronenmessung, während das Photonen-Ansprechvermögen proportional zur Dicke wächst. Dünnere als die routinemäßig eingesetzten Detektoren von 0,9 mm Dicke versprechen daher eine verbesserte Gammadiskriminierung in der Albedodosimetrie.

Kommerziell erhältliche TLD600/700-Detektoren der Dicke 0,4 mm und 0,9 mm wurden im Hinblick auf das relative Ansprechvermögen gegenüber Photonen und Neutronen sowie auf die Reproduzierbarkeit der Anzeige und die Schwankung der Voranzeige untersucht.

Die Ergebnisse sind in Tab. 6/5 wiedergegeben und basieren auf den Meßwerten von jeweils 10 Detektoren. Die Meßreihen zur Mittelung der Voranzeigeschwankung und Reproduzierbarkeit der Anzeige wurden mit den gleichen Detektoren viermal wiederholt. In diesen Fällen sind die Extremwerte angegeben.

Das relative Photonen-Ansprechvermögen  $R_V = R_V(0,4 \text{ mm})/R_V(0,9 \text{ mm})$  der TLD600 Detektoren beträgt 0,49, wie dies aus dem Massenverhältnis zu erwarten ist. Das entsprechende relative Neutronen-Ansprechvermögen beträgt 0,92. Bezogen auf gleiches Photonenansprechvermögen ist das relative Neutronenansprechvermögen von 0,4 mm dicken gegenüber 0,9 mm dicken TLD600 1,9mal höher und ermöglicht dadurch die angestrebte bessere Gammadiskriminierung. Die Voranzeige der dünnen TLD600-Detektoren ist vergleichsweise höher, liegt aber mit maximal 14  $\mu\text{Sv}$  unter einem dem Hersteller vorgegebenen Wert von 20  $\mu\text{Sv}$ . Die erhöhte Streuung des individuellen Ansprechvermögens läßt sich durch individuelle Korrektur auf etwa 1,5 % verringern. Seit Oktober 1986 werden dünne Detektoren in der Albedoneutronendosimetrie routinemäßig eingesetzt.

Detektoren		TLD600 <sup>1)</sup>		TLD700 <sup>1)</sup>	
		0,9	0,4	0,9	0,4
Dicke in mm		0,9	0,4	0,9	0,4
Herstellungsjahr		1984	1986	1984	1986
Relatives Ansprechvermögen					
für Photonen	$R_V$	1,0	0,48	1,16	0,35
für Neutronen	$R_n$	1,0	0,92	-	-
	$R_n/R_V$	1,0	1,92		
s in % bei Anzeige 25 mSv					
für Photonen	$S_V^{2)}$	2,7	3,7	3,0	5,9
	$S_V^{2)}$	1,7-2,1	0,9-2,0	1,2-2,1	0,8-1,8
für Neutronen	$S_n^{2)}$	2,1-3,4	1,4-3,5	-	-
Voranzeige	$M_0$ in $\mu\text{Sv}$	82-118	113-126	73-109	74-84
	$S_0$ in $\mu\text{Sv}$	3-6	10-14	6-10	4-6
$N_2$ -Auswertetemperatur		360° C	300° C	360° C	300° C

<sup>1)</sup> Für die Meßergebnisse, die mit 10 Detektoren und aus 4 Wiederholmessungen ermittelt wurden, sind die gefundenen Extremwerte angegeben, <sup>2)</sup> nach Korrektur mit individuellem Photonen-Ansprechvermögen

Tab. 6/5: Vergleich der dosimetrischen Eigenschaften von TLD600/TLD700 Detektoren der Dicke 0,9 und 0,4 mm bei Auswertung im automatischen TL-Dosimetriesystem DOSACUS

6.3.3 Nachweis eines Neutronen-Meßwertanteils über den Glow-Peak eines TLD600-Detektors

W. Schwarz, B. Burgkhardt

In der Albedoneutronendosimetrie wird die Neutronen-Äquivalentdosis aus der Meßwertdifferenz des TLD600- und TLD700-Detektors ermittelt. Meßfehler von weniger als 10 % können eine Neutronendosis vortäuschen. Aus dem Meßwertverhältnis für Glow-Peak 5 und Glow-Peak 6 des TLD600-Detektors läßt sich unabhängig von der Meßwertdifferenz der zwei TLD600/TLD700-Detektoren ein Neutronendosisanteil nachweisen. Wegen der Verwendung von heißem Stickstoff anstelle der Aufheizung des Detektors auf einem Heizplättchen zeigt die Glowkurve des automatischen Auswertesystems DOSACUS bei der routinemäßigen Auswertung des Albedodosimeters jedoch keine deutlich getrennten Glowpeaks mehr. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, daß der Neutronenanteil trotzdem aus der Glowkurve ermittelt werden kann. Herangezogen werden hierbei die über eine Sekunde integrierte Anzeige  $P_p$  im Maximum des Hauptpeaks und die über die letzten 0,5 Sekunden der Auswertung integrierte Anzeige  $P_e$ . Unter Verwendung von Kalibrierdosimetern lassen sich nach Bestrahlung mit Photonen und Neutronen über das Verhältnis  $P_p/(P_p + P_e)$  die Kalibrierfaktoren  $k_\gamma$  bzw.  $k_n$  bestimmen. Aus den Anzeigen  $P_p$  und  $P_e$  eines routinemäßig ausgewerteten TLD600 kann dann das Meßwert-Verhältnis des Neutronen-Gammadosisanteiles wie folgt bestimmt werden:

$$\frac{M_n}{M_\gamma} = \frac{P_e \cdot k_\gamma - P_p(1 - k_\gamma)}{P_p(1 - k_n) - P_e \cdot k_n}$$

Referenzbestrahlung <sup>1)</sup>			Relative Neutronenanzeige, berechnet aus			
Neutronen $M_n$ (mSv)	Photonen $M_\gamma$ (mSv)	Verhältnis $M_n/M_{n+\gamma}$	Detektorpaar TLD600/700		Glowpeak-Messung TLD600 Glow Kurve	
			$M_n/M_{n+\gamma}$	s % <sup>2)</sup>	$M_n/M_{n+\gamma}$	s % <sup>2)</sup>
0	0,07	0	0,03	± 130	0,55	± 250
0	0,5	0	0,03	± 67	0,003	± 30
0	12,0	0	0,04	± 100	0,007	± 85
0,05	0,13	0,28	0,30	± 8	0,11	± 140
0,11	0,13	0,45	0,42	± 6	0,63	± 14
0,20	0,13	0,58	0,61	± 3	0,68	± 14
0,21	0,23	0,48	0,48	± 4	0,70	± 13
0,5	4,5	0,1	0,10	± 18	0,08	± 22
0,5	2,0	0,2	0,20	± 6	0,18	± 10
0,5	0,57	0,47	0,46	± 3	0,45	± 8
12,2	0,4	0,97	0,97	± 0,1	1,07	± 6

<sup>1)</sup> Neutronenbestrahlung bezogen auf eine gammaäquivalente Anzeige in mSv, <sup>2)</sup> Relative Standardabweichung des Neutronenanteiles bestimmt aus 10 Meßwerten für jede Bestrahlung

Tab. 6/6: Ermittlung der Neutronenkomponente aus der Glowkurve des TLD600-Detektors und aus der Differenz TLD600/TLD700 bei Auswertung im Alnor DOSACUS-Automaten

In Tab. 6/6 werden den Referenzdosen die durch Differenzbildung aus den Meßwerten von TLD600- und TLD700-Detektoren und die aus den Glowkurven der TLD600-Detektoren ermittelten relativen Neutronendosisanzeigen gegenübergestellt. Hierbei wurden jeweils 10 Detektoren in einem Photonen-Neutronen-Mischstrahlungsfeld bestrahlt. Die Ergebnisse zeigen, daß sich bei Verwendung eines TLD600-Detektors aus der Glowkurve ein relativer Neutronen-Äquivalentdosisanteil von mehr als 10 % der Gesamtdosis für gammaäquivalente Anzeigen oberhalb 0,2 mSv mit einer Standardabweichung von besser als  $\pm 25\%$  bestimmen läßt.

Somit ist die zusätzliche Trennung des Neutronenanteiles aus der Glowkurve des TLD600-Detektors eine sinnvolle Ergänzung zur routinemäßigen Differenzmessung. Auf den TLD700-Detektor im Albedodosimeter kann jedoch nicht verzichtet werden. Dieser Detektor mißt die Photonen-Äquivalentdosis unabhängig von der Neutronen-Äquivalentdosis, solange diese nicht um Größenordnungen höher liegt.

#### 6.3.4 Kalibrierung von Albedodosimetern im Streustrahlungsfeld

E. Piesch, B. Burgkhardt

Bei der Anwendung von Albedodosimetern innerhalb der Personenüberwachung wird eine Übereinstimmung von gemessener Personendosis und Ortsdosis angestrebt. Referenzdosimeter zur Routinekalibrierung von Albedodosimetern ist hier ein TL-Detektor für thermische Neutronen im Zentrum einer Polyäthylenkugel von 30 cm Durchmesser. Zur Durchführung von Feldkalibrierungen werden Albedodosimeter an der Kugeloberfläche angeordnet und im Streustrahlungsfeld in 0,85 m über Boden bestrahlt.

Die Feldkalibrierung von Albedodosimetern wird dadurch erschwert, daß für Referenzdosimeter und Albedodetektor jeweils Meßgrößen mit unterschiedlicher Richtungsabhängigkeit vorgegeben werden. Hinsichtlich Richtungsabhängigkeit wird das Referenzdosimeter die isotrope Meßgröße  $H^*(10)$  für Ortsdosimeter anzeigen. Der Albedodetektor soll hingegen die von der Strahleneinfallrichtung abhängige Meßgröße  $H'(10)$  für Personendosimeter anzeigen. Das Verhältnis  $H'(10)/H^*(10)$  zeigt beispielsweise für eine Strahleneinfallrichtung unter  $90^\circ$  im interessierenden Energiebereich  $< 2$  MeV einen Wert von weniger als 0,5. Damit wird für das Ansprechvermögen des Albedodosimeters insbesondere für Streustrahlungskomponenten aus dem vorderen Halbraum eine ausgeprägte Richtungsabhängigkeit vorgegeben.

Im Gegensatz zur Standardkalibrierung des Referenzdosimeters mit einer Neutronenquelle definierter Energieverteilung und Strahleneinfallrichtung werden bei einer Feldkalibrierung am Kalibrierort Streustrahlungskomponenten aus verschiedenen Einfallrichtungen insbesondere vom Boden und den Wänden sowie von zusätzlichen "Moderatoren" des Raumes erwartet.

Die Feldkalibrierung des Albedodetektors reduziert sich im allgemeinen Fall auf die Bestimmung des Neutronenansprechvermögens für ein annähernd isotropes Streustrahlungsfeld aus dem vorderen Halbraum. Unabhängig von dem späteren Einsatz des Albedoneutronendosimeters in der Personenüberwachung werden bei der Feldkalibrierung zweckmäßigerweise zwei diametral angeordnete Albedodosimeter, die beispielsweise an der Vorder- und Rückseite am Phantom angeordnet werden, als

"Albedodosimetersystem" betrachtet. Bei Addition der beiden Albedomeßwerte zeigt das Albedodosimetersystem eine annähernd isotrope, d. h. orientierungsunabhängige Anzeige, wie dies am Beispiel eines Cf-252-Streustrahlungsfeldes in Abb. 6/9 gezeigt wird. Im isotropen Streustrahlungsfeld wird praktisch keine Orientierungsabhängigkeit der Albedodetektoranzeige auftreten. Mit der isotropen Anzeige des Referenzdosimeters  $M(c)$  im Kugelzentrum läßt sich damit ein orientierungsunabhängiges Ansprechvermögen  $R_{ns}$  für den Albedodetektor ermitteln.

Im Gegensatz zur Feldkalibrierung wird innerhalb der Personenüberwachung jedoch nur ein Personendosimeter getragen, dessen Ansprechvermögen  $R_n$  sich u.U. von  $R_{ns}$  unterscheidet.

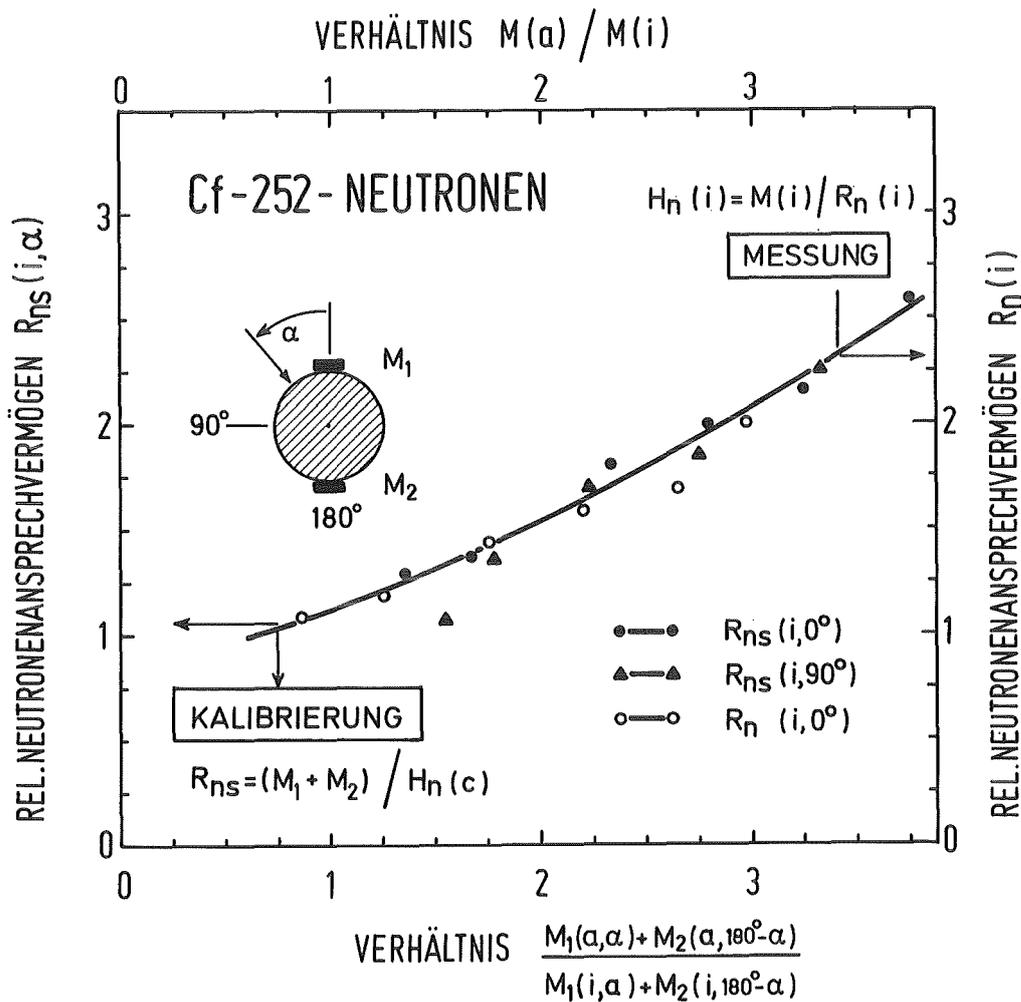


Abb. 6/9: Relatives Neutronenäquivalentdosis-Ansprechvermögen  $R_n(i, \alpha)$  eines Albedodetektors in Abhängigkeit vom Meßwertverhältnis  $M(a)/M(i)$  im Streustrahlungsfeld einer Cf-252-Neutronenquelle in 1,25 m über Boden

Dies wird am Beispiel der verschiedenen Bestrahlungsgeometrien anhand von Abb. 6/10 erläutert. Es wird hier unterschieden zwischen

- der Standardkalibrierung (a) des Referenzdosimeters frei in Luft im Strahlungsfeld einer Cf-252-Quelle, die zu einem Ansprechvermögen  $R_0(c)$  führt, wobei der Anzeigenanteil  $M_{Str}(c)$  durch Raumstreuung mit Schattenkonusmessungen korrigiert wird,

- der Feldkalibrierung des Albedodetektors im gerichteten Strahlungsfeld einer Kalibrierquelle (b) unter dem Strahleneinfallswinkel von  $\alpha = 0^\circ$ , die zu einem Ansprechvermögen  $R_n(i, 0^\circ)$  führt. Das Ansprechvermögen  $R_n(i, \alpha)$  kann hier mit demjenigen des Personendosimeters gleichgesetzt werden,
- der Feldkalibrierung des Albedodetektors im isotropen Streustrahlungsfeld (c), die zu einem orientierungsunabhängigen Ansprechvermögen in der Personendosimetrie (d) führt. Hierbei ist  $R_n(i) = R_{ns}(i)$ ,
- der Feldkalibrierung des Albedodetektors im Grenzfall eines "gerichteten Streustrahlungsfeldes" geringer Isotropie (e), die zu einem orientierungsunabhängigen Ansprechvermögen  $R_{ns}(i)$  führt. In der Personenüberwachung wird das Meßwertverhältnis  $M(a)/M(i)$  der Detektoren im Albedodosimeter als Veränderliche für die  $R_{ns}(i)$ -Kurve angesehen. Wie im folgenden beschrieben, gilt hier  $R_n(c) = R_{ns}\{M(a)/M(i)\}$ .

Entsprechend der hier vorgegebenen Kalibriervorschrift ist  $R_{ns}(i, \alpha)$  an verschiedenen Orten des Streustrahlungsfeldes als Funktion des Meßwertverhältnisses  $M(a)/M(i)$  über eine entsprechende Feldkalibrierung zu ermitteln. Die  $R_{ns}(i, \alpha)$ -Kalibrierkurve wird hierbei unmittelbar zur Ermittlung des Ansprechvermögens  $R_n(i)$  des Personendosimeters herangezogen (siehe Abb. 6/9).

Für den Fall eines isotropen Streustrahlungsfeldes kann  $R_{ns}$  wie (c) und (d) in Abb. 6/10 zeigen, unmittelbar dem Neutronenansprechvermögen  $R_n$  für die Personenüberwachung gleichgesetzt werden. Hierbei wird vorausgesetzt, daß das Albedodosimeter an der Vorderseite den Referenzwert  $H^*(10)$  nur für den vorderen Halbraum richtig anzeigen soll. Zusätzliche vom Albedodetektor angezeigte Strahlungsanteile (Direkt- bzw. Streustrahlung) aus dem rückseitigen Halbraum werden durch  $R_{ns}$  berücksichtigt. Das Ansprechvermögen ist annähernd unabhängig von der Orientierung der Person im Strahlungsfeld ( $0^\circ - 360^\circ$ ). Wegen der Kalibrierung auf  $H^*(10)$  führt  $R_{ns}$  andererseits zu einer Überschätzung der Neutronen-Äquivalentdosis  $H'(10)$  innerhalb der Personenüberwachung.

Für den Fall eines "gerichteten Streustrahlungsfeldes" (e) in Abb. 6/10, beispielsweise beim Umgang mit einer Cf-252- bzw. Am-Be-Neutronenquelle, ist eine eindeutige Orientierung des Personendosimeters zur Strahlenquelle insbesondere bei der Feldkalibrierung noch möglich. Auch hier kann  $R_{ns}$  für eine Personenüberwachung zugrunde gelegt werden. Innerhalb der Personenüberwachung wird das tatsächliche Ansprechvermögen  $R_n$  von der Orientierung der Person zur Strahlenquelle abhängen. Für eine Strahleneinfallrichtung aus dem vorderen Halbraum wird der Richtungskorrektionsfaktor  $k(i, \alpha)$  im interessierenden Energiebereich für  $90^\circ$  einen Minimalwert erreichen. Die bei der Feldkalibrierung geforderte Bereitstellung einer Kalibrierkurve, wie dies für das Streustrahlungsfeld einer Cf-252-Quelle in Abb. 6/9 dargestellt ist, führt in unterschiedlichen Abständen von der Neutronenquelle zu einem von der Orientierung des Albedodetektors annähernd unabhängigen Ansprechvermögen  $R_{ns}(i) \approx R_n(i)$ , sofern das jeweilige Meßwertverhältnis für die Bestimmung der Kalibrierkurve bzw. für die Bestimmung des entsprechenden Ansprechvermögens  $R_n(i)$  aus der Kalibrierkurve zugrundegelegt werden.

Die Verwendung von  $R_n(i)$  innerhalb der Personenüberwachung bedeutet auch für eine Strahleneinfallrichtung von  $\alpha = 90^\circ$  keine Unterbewertung der Meßgröße  $H'(10)$ , da hier im interessierenden Energiebereich unterhalb 2 MeV ein Verhältnis  $H'(10)/H^*(10) \leq 0,5$  gefunden wird.

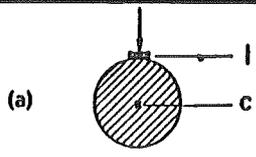
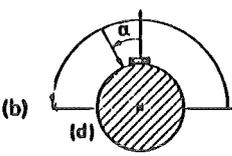
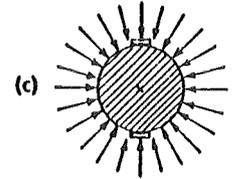
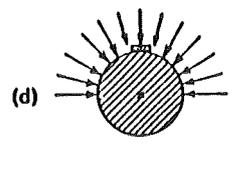
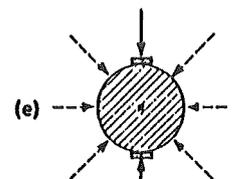
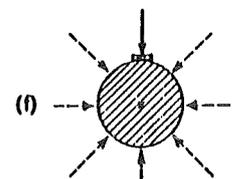
	STRAHLENEINFALL	NEUTRONENANSPRECHVERMÖGEN $R_n$
<b>Standardkalibrierung</b> <b>Referenzdosimeter</b>	 <p>(a)</p> <p>c Referenzdetektor i Albedodetektor</p>	$R_n(c) = \frac{M(c) - M_{str}(c)}{H_n^0(10)}$ <p>Standardkalibrierung mit Schattenkonus an kalibrierter Neutronenquelle: <math>R_n(c) = R_0(c)</math></p>
<b>Feldkalibrierung</b> <b>Albedodetektor</b>  <b>Gerichtetes Feld</b>	 <p>(b)</p> <p>(d)</p>	$R_n(i, \alpha) = \frac{k(i, \alpha) M(i, 0^\circ)}{H_n(c)} = k(i, \alpha) R_n(i, 0^\circ)$ <p>mit <math>H_n(c) = R_0(c) \cdot M(c)</math></p>
<b>Isotropes Feld</b> <b>Gesamtraum</b>	 <p>(c)</p>	$R_{ns}(i) = \frac{2 \sum_{0^\circ}^{\pm 180^\circ} M(i, \alpha)}{\sum_{0^\circ}^{\pm 90^\circ} H_n(c, \alpha)}$
<b>vorderer</b> <b>Halbraum</b>	 <p>(d)</p>	$R_n(i) = \frac{\sum_{0^\circ}^{\pm 180^\circ} M(i, \alpha)}{\sum_{0^\circ}^{\pm 90^\circ} H_n(c, \alpha)} = R_{ns}(i)$
<b>Geringe Isotropie</b> <b>Gesamtraum</b>	 <p>(e)</p>	$R_{ns}(i, \alpha) = \frac{M_1(i, \alpha) + M_2(i, 180^\circ - \alpha)}{H_n(c)}$ $= \left[ 1 + \frac{M_2(i, 180^\circ - \alpha)}{M_1(i, \alpha)} \right] k(i, \alpha) R_n(i, 0^\circ)$
<b>vorderer</b> <b>Halbraum</b>	 <p>(f)</p>	$R_n(i) = R_{ns} \left[ \frac{M(\alpha)}{M(i)} \right]$

Abb. 6/10: Neutronenansprechvermögen für die Kalibrierung des Referenzdosimeters frei in Luft und des Albedodetektors in Streustrahlungsfeldern unterschiedlicher Bestrahlungsgeometrie

## 6.4 Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte

### 6.4.1 Untersuchungen zur Auswirkung der Radonemission aus der Uranexplorationsgrube Krunkelbach auf die Umwelt

J. Schmitz, U. Meisch

Bergwerke, insbesondere Uranbergwerke, müssen zum Schutz der Beschäftigten bewettert werden und geben über ihre Grubenabwetter Radon an die Umgebungsatmosphäre ab. Das Radon tritt über die untertage offengelegten Gesteinsoberflächen in die Grubenluft ein und reichert sich je nach Radiumkonzentration des Gesteins und Wettermenge in mehr oder weniger hoher Konzentration an. Eine große Rolle für die Radonexhalation spielen auch die Grubenwässer, die das Radon in hoher Konzentration lösen können und unter turbulenten Strömungsbedingungen wieder abgeben.

Die Zielsetzung eines mehrjährigen vom BMU geförderten Forschungsvorhabens ist, mehr über das Verhalten des Radons im Grubengebäude und seine Dispersion auf dem Betriebsgelände und der weiteren Umgebung zu erfahren, die damit verbundenen meßtechnischen Methoden weiter zu entwickeln und den spezifischen Anforderungen anzupassen. Als Versuchsfeld steht dafür die Uranexplorationsgrube Krunkelbach im Schwarzwald zur Verfügung. Die Grube besitzt eine Radonemission, in der gleichen Größenordnung wie die sommerliche Exhalation einer etwa 1 km<sup>2</sup> großen Gesteinshalde aus z. B. Bärhaldegranit. Sie hat gegenüber diffusen natürlichen Radonanomalien jedoch den Vorteil, den Untersuchungen als definierter Quellterm zu dienen.

Seit 1984 wird in der Umgebung sowie auf dem Grubengelände regelmäßig die Radonkonzentration mit passiven Dosimetern über 2 Monate integrierend gemessen. Durch die Festlegung der Meßpunkte in der Umgebung der Grube sollte der Einflußbereich der Grubenabluft ermittelt werden. So wurden zwei Meßpunkte talaufwärts d. h. entgegen der Hauptwindrichtung eingerichtet, 6 Meßpunkte auf dem Betriebsgelände und weitere talabwärts, d. h. in Hauptwindrichtung. Die Meßergebnisse der Jahre 1984 bis 1986 lassen in allen drei Bereichen - talaufwärts, auf dem Grubengelände und talabwärts - deutliche Unterschiede zwischen Sommer- und Winterkonzentrationen erkennen. Im Mittel liegen die talabwärts gemessenen Werte etwa um den Faktor 2 über den Werten im Bereich oberhalb der Grube. Diese Zunahme kann als Beitrag der Grube angesehen werden.

Um die sich deutlich heraushebenden Sommerpeaks zu erklären, wurden die Daten der Klimastation Menzenschwand des Deutschen Wetterdienstes herangezogen und mit dem zeitlichen Konzentrationsverlauf verglichen. Da die Radonexhalation aus dem Boden wesentlich vom Porenwasser beeinflusst wird, wurden die subjektive Bodenfeuchte, die Zahl der Tage ohne Niederschlag im Meßzeitraum und die Tage mit Windstille mit den Radondaten verglichen. Abb. 6/11 sind die Konzentrationen auf dem Betriebsgelände neben der Häufigkeit der niederschlagsfreien Tage aufgetragen. Der Zusammenhang zwischen beiden Größen ist dem völlig parallelen Verlauf zu entnehmen, der sich auch in einem Korrelationskoeffizienten von  $r > 0,7$  ausdrückt. Damit wurde offensichtlich, daß zwei Quellterme die Radonkonzentration in der Umgebungsatmosphäre beeinflussen. Der geringere Teil, etwa den Winterwerten entsprechend, stammt aus der unumgänglichen Grubenabluft; dazu addiert sich deutlich die Sommerexhalation des Bodens. Als Radonlieferant kommen dafür bestehende, aber fortlaufend zu begrünende Betriebshalden des Nebengesteins infrage, ferner die Abraumhalden des ehemaligen Tagebaus und der Radonstollenauffahrung der 60er Jahre und sicher in sehr weitgehendem Maße natürliche Anomalien wie sie die granitischen Moränenfüllungen des Krunkelbachtals darstellen. Für letzteres spricht auch die Tatsache, daß die talabwärtsfließende Luft aus dem Tal der Feldberger Alb eine vergleichbare Radonkonzentration wie das untere Krunkelbachtal besitzt. Eine zusätzliche Exhalation von Radon aus dem Krunkelbachwasser ist aufgrund von Konzentrationsbestimmungen oberhalb und unterhalb des Grubenwassereinflusses auszuschließen.

Der zeitliche Verlauf der Radonkonzentration im Übertagegebäude der Grube bestehend aus Büro, Aufenthalts-, Umkleide- und Waschräumen ist in Abb. 6/12 dargestellt. Deren Anstieg in den Sommermonaten über die Radonkonzentrationen auf dem Betriebsgelände hinaus kann man bei dem aus Holz bestehenden Gebäude auf die Zunahme der Radonexhalation aus dem Untergrund und die Zunahme in den Wintermonaten auf die in der Heizperiode geringere Luftwechselraten sowie die Betriebs-

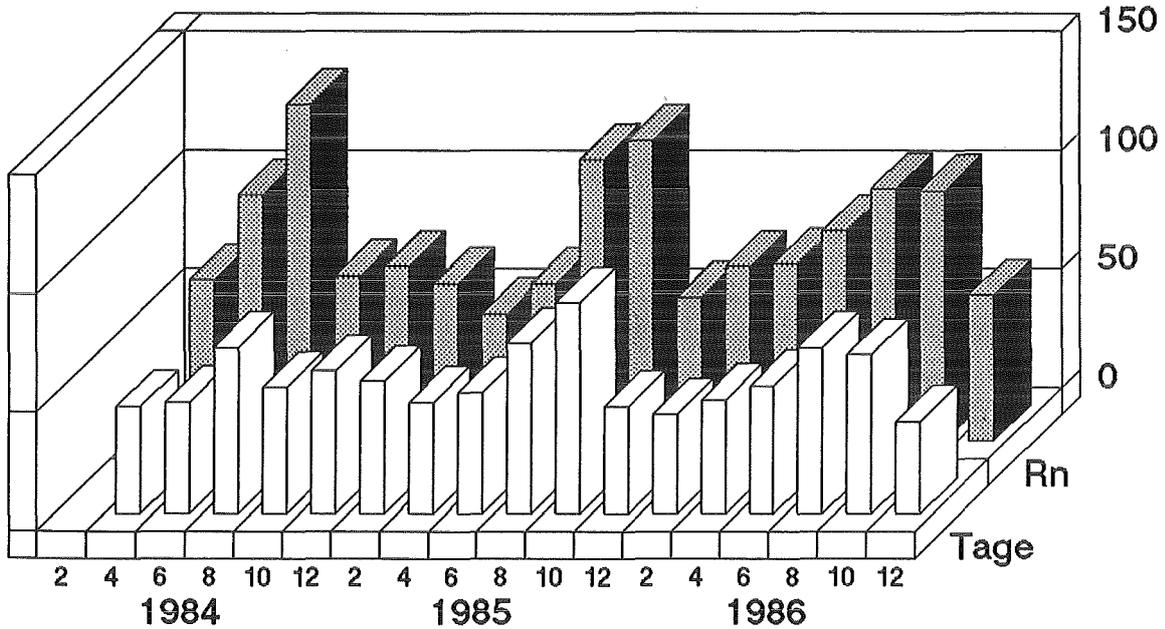


Abb. 6/11: Radon-Konzentration und Tage ohne Niederschlag im Bereich der Grube Krunkelbach  
Radon in Bqm<sup>-3</sup>, Tage in Prozent vom Meßzeitraum

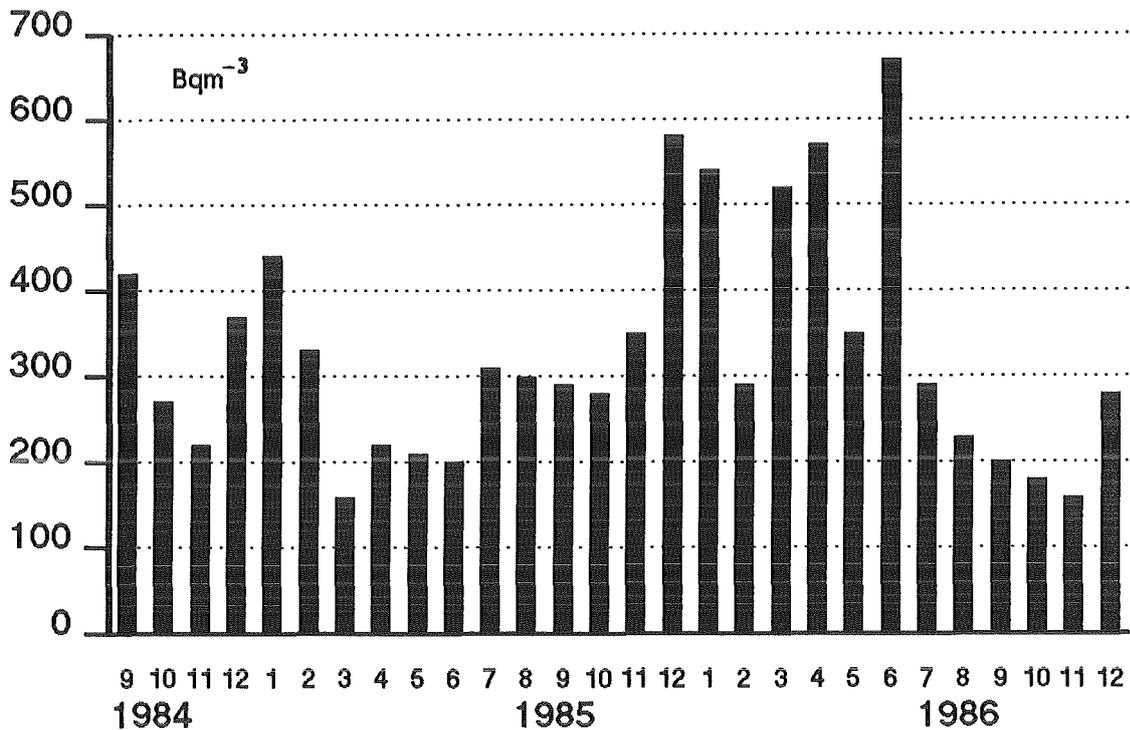


Abb. 6/12: Radon-Konzentration im Übertagegebäude der Grube Krunkelbach

ruhe zum Jahreswechsel zurückführen. Die starke Erhöhung im Sommer 1986 gegenüber 1985 wurde wahrscheinlich durch eine örtliche Änderung der Brauchwassergewinnung untertage hervorgerufen, die eine drastische Erhöhung der Radonkonzentration in diesem Wasser zur Folge hatte. Eine entsprechende Änderung im Juni 1986 sowie der zusätzliche Einbau eines Fensters im Waschkraum zur besseren Belüftung hatte eine Halbierung der Radonkonzentration zur Folge. Aus der mittleren Radonkonzentration im Übertagegebäude errechnet sich eine jährliche Lungenexposition von ca. 1 mSv für den ständigen Büroarbeitsplatz.

Zur Absicherung der Luftmessungen und zur Erkennung eventueller Anomalien im Bereich der Meßstellen wurden in der zweiten Jahreshälfte alle Meßstellen radiometrisch vermessen und geologisch kartiert. Da die Pflanzenprobenahme und nachfolgende Analyse auf Pb-210 entlang der Bachtrasse keine eindeutig dem Grubenbereich zuzuordnenden Werte bzw. auch noch weitere Hochwerte ergab, und die monatliche Beprobung ein und derselben Fichtengruppe keine reproduzierbaren Ergebnisse zeigte, kann über absolute Depositionskonzentrationen keine gesicherte Aussage gemacht werden. Aus diesem Grund wurden außerhalb landwirtschaftlicher Nutzung- und damit Düngung - entlang der s. g. Allmendgrenze auf beiden Seiten des Tales von etwa 300 m oberhalb der Grube bis etwa 1200 m unterhalb im Abstand von 100 m Bodenproben genommen. Eventuell langjährige Depositionen von Aerosolen und Erzstaub sollten sich dabei als Anomalien in den Pb-210 bzw. Ra-226 Werten zeigen, da die Proben alle dem obersten Horizont (A2) unmittelbar aus dem Wurzelbereich der Grasnarbe entnommen wurden. Die Auswertung der radiochemischen Analysen und  $\gamma$ -spektroskopischen Nachmessungen ergab keine eindeutigen Hinweise auf solche Anomalien. Im Mittel ergab sich ein Ra-226 Gehalt von 0,11 Bq/g, was typisch ist für die dort vertretenen Granite. Ähnlich normalverteilt zeigten sich auch die Pb-210-Werte mit einem Mittelwert von 0,17 Bq/g. Das Pb-210/Ra-226 Verhältnis liegt überwiegend zwischen 1 und 2 ( $x = 1,5$ ), was u.a. auch für eine gute Radondurchlässigkeit des im allgemeinen geringmächtigen A-Horizontes spricht. In feuchteren Probenahmeabschnitten steigt das Pb-210/Ra-226 Verhältnis über 2 aufgrund der besseren Radonrückhaltung. Die übrigen hohen Verhältniswerte sind auf sehr niedrige Ra-226 Gehalte zurückzuführen bei etwa gleichbleibenden Pb-210-Gehalten und sind nur in einem einzigen Fall dem wenige Meter entfernten Grubengelände zuzuordnen. Depositionswerte mit einem Aktivitätsverhältnis von etwa 8:1, wie sie in der Umgebung anderer Gruben gefunden wurden, sind nicht analysiert worden. Ein geringer Anstieg des Pb-210 von 0,17 auf 0,24 Bq/g an den 3 talabwärts von der Grube liegenden Probenahmepunkten der Nordtrasse scheint nicht signifikant, weil auch viel weiter entfernte Einzelpunkte solche Werte zeigten.

Bei der gammaspektroskopischen Messung der Bodenproben ergab sich noch eine ungewöhnliche Erkenntnis. In allen 35 Bodenproben war zwar Cs-137 nachweisbar zwischen 0,05 und 0,15 Bq/g<sub>tr</sub>, die Cs-134 Konzentration jedoch war um den Faktor 6 bis 15 niedriger und stand keineswegs in dem heute bekannten Verhältnis von ca. 2,5:1. Das bedeutet, daß auch ca. 1/2 Jahr nach dem Reaktorunfall und 1 000 mm Niederschlag die Cäsiumisotope dieses jüngsten Fallouts den Wurzelbereich des Weidegrases noch nicht erreicht hatten.

#### 6.4.2 Vergleich der Radon-Personendosimeter von CEA und KfK im Routinebetrieb

J. Schmitz, M. Urban, U. Meisch

Es gibt zur Bestimmung der individuellen Strahlenbelastung im wesentlichen zwei Vorgehensweisen, die sich vom Prinzip her unterscheiden: Die oft einzig praktizierte ist die wiederholte, z. B. arbeitstägliche durchgeführte Messung der momentanen Konzentration von Radon, Thoron und deren kurzlebigen Zerfallsprodukten am Arbeitsplatz (s. Abb. 6/13). Die Dosis für die dort Arbeitenden wird aus diesen momentanen Konzentrationen und der Arbeitszeit ermittelt. Nicht erfaßt werden kann dabei die zeitliche Änderung der Radonkonzentration und ein Wechsel des Arbeitsplatzes. Diese Bestimmungsmethode ermög-

licht entweder nur eine grobe Abschätzung der Dosis oder ist mit einem erheblichen Aufwand zur Durchführung der Messungen verbunden. Die zweite bessere Möglichkeit, die diese Nachteile nicht mit sich bringt, ist die Verwendung von Personendosimetern, wie sie z. B. von KfK und CEA entwickelt worden sind.

Beide Dosimeter arbeiten prinzipiell unterschiedlich. Im CEA-Dosimeter werden mit Hilfe einer Pumpe Radonzerfallsprodukte auf einem Filter abgeschieden. Dem Filter gegenüber ist ein Cellulosenitrat-Kernspurdetektor angeordnet. Über Kollimatoren mit unterschiedlichen Absorbern werden  $\alpha$ -Zerfälle vom Filter mit Energien von 6,0 MeV, 7,7 MeV gemessen. Zur Bestimmung der Exposition durch Radonzerfallsprodukte wird der mittlere Luftdurchsatz verwendet. Das Dosimeter wird am Gürtel getragen (Abb. 6/13). Das KfK-Dosimeter ist im Helm mit der Öffnung nach innen integriert. Es arbeitet als Diffusionskammer rein passiv, d. h. ohne Energieversorgung. Gemessen wird das zeitliche Integral der Radonkonzentration. Zur Bestimmung der externen Strahlung kann es zusätzlich mit TL-Detektoren ausgestattet werden.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens im Auftrag des BMU wurden 10 Arbeiter eines deutschen Uranexplorationsbergwerkes und 20 Mineure einer französischen Urangrube mit den Radonpersonendosimetern von CEA bzw. KfK gleichzeitig ausgestattet.

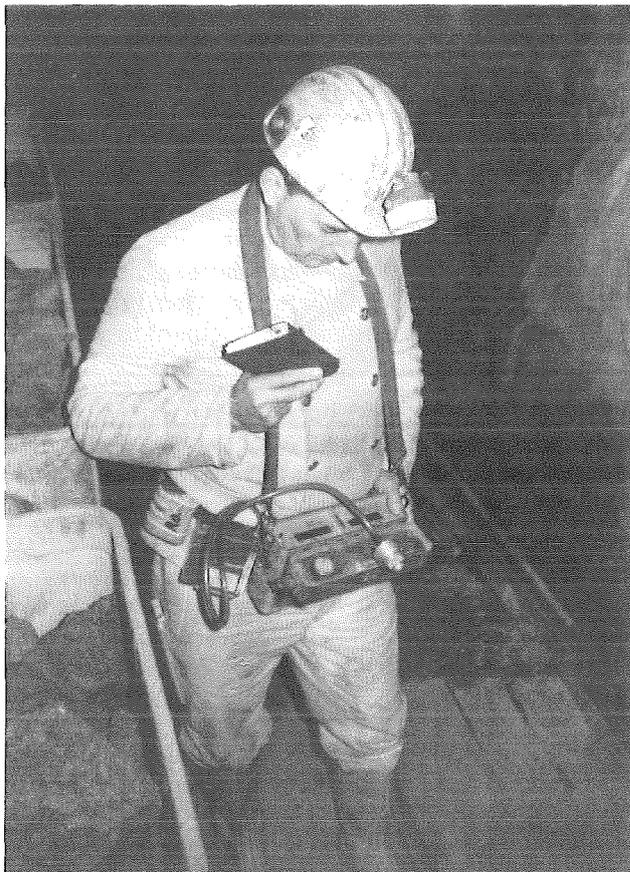


Abb. 6/13: Strahlenschutzsteiger beim Messen der Radonfolgeprodukt-Momentankonzentration. Ausgerüstet mit KfK-Dosimeter (Helm) und CEA-Dosimeter (Gürtel)

Betrachtet man die Ergebnisse beider Dosimeter mit ihren Meßunsicherheiten, dann wird für die Mehrzahl der monatlichen Meßwerte eine gute Übereinstimmung erzielt. Ist der mittels des CEA-Dosimeters ermittelte Meßwert kleiner als der des KfK-Dosimeters, können Fehlmessungen bei der Überprüfung des Luftdurchsatzes nicht konstanter, d. h. abnehmender Luftdurchsatz, ein defektes Filter oder zeitweises Nichttragen des Dosimeters die Ursache sein. Ist der KfK-Meßwert kleiner, so kann eine Ursache dafür, z. B. das Tragen eines anderen, nicht mit einem Dosimeter ausgestatteten Helmes sein. Ein Vergleich beider Verfahren hängt also wesentlich von der Zuverlässigkeit ab, mit der die Dosimeter getragen werden. Zusätzlich muß aber beachtet werden, daß die beiden Dosimeter nicht die gleichen Radionuklide erfassen und das beim KfK-Dosimeter die Lungenbelastung aus der Radonkonzentration und dem auf andere Weise bestimmten Gleichgewichtsfaktor berechnet wird, während das CEA-Dosimeter die Zerfallsprodukte direkt bestimmt.

Abb. 6/14 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Monatswerte, die mit Hilfe der beiden Methoden in der französischen Urangrube erhalten wurden. Die Mittelwerte der ca. 200 Bestimmungen stimmen sehr gut überein.

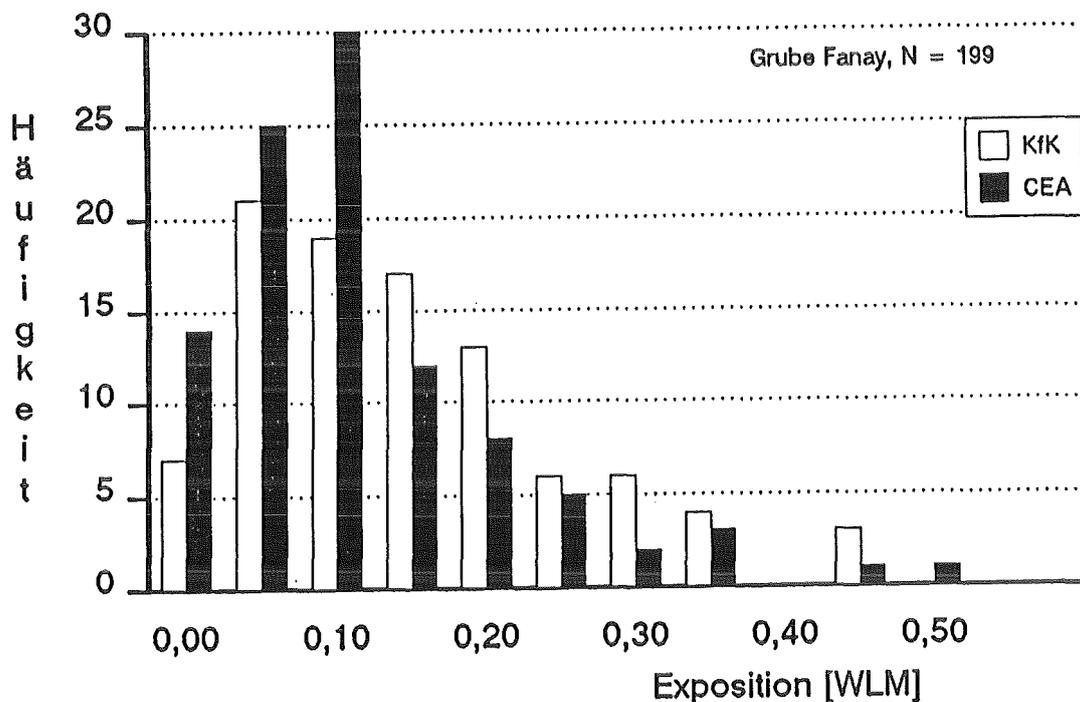


Abb. 6/14: Häufigkeitsverteilung der monatlichen Exposition, CEA-Dosimeter/KfK-Dosimeter, N = 199, Grube Fanay

Stellt man die in der französischen und deutschen Grube erhaltenen Halbjahresexpositionen gegenüber d. h., mit 2 unterschiedlichen Geräten gleichzeitig und unter jeweils völlig unterschiedlichen Umgebungs- und Arbeitsbedingungen erhaltene Resultate der Lungenexposition, so erhält man einen Korrelationskoeffizienten von 0,75, was für die schwierigen Meßbedingungen untertage als sehr zufriedenstellend angesehen werden kann (Abb. 6/15). Aufgrund der umfangreichen Testerfahrungen und der guten Vergleichsergebnisse ist geplant, die Bestimmung der Personendosis untertage etwa ab Mitte 1987 als Service durch die "Amtliche Meßstelle für Festkörperdosimeter" anzubieten.

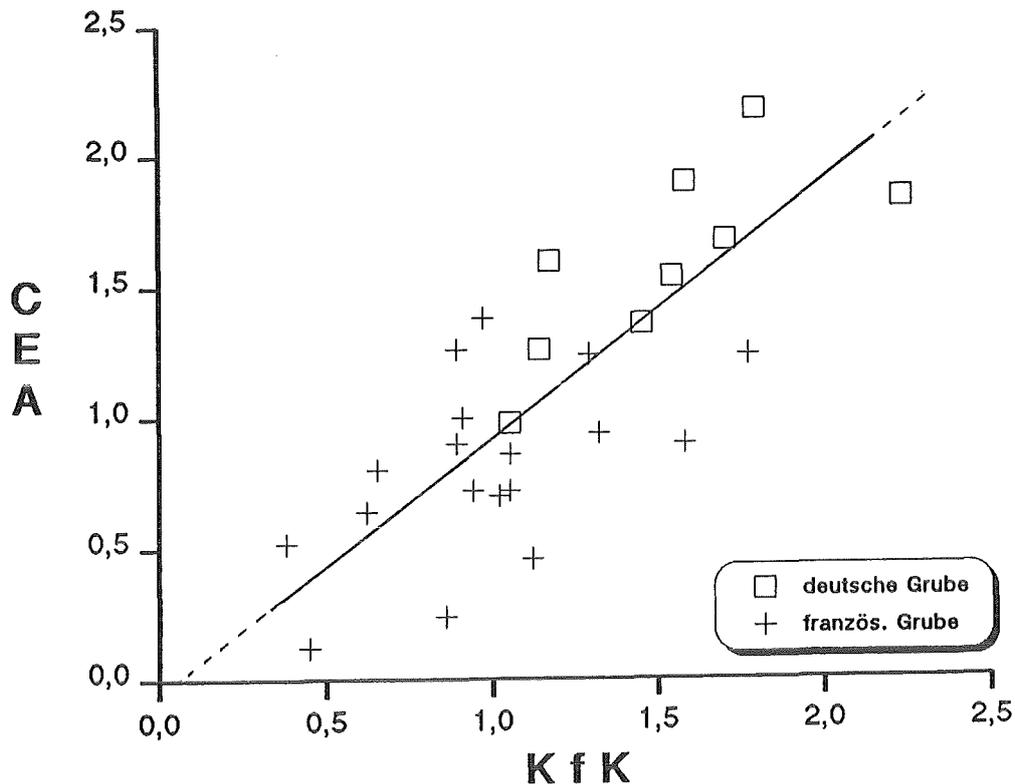


Abb. 6/15: Korrelation der Halbjahresexpositionsweite 1/86 in WLM,  $N = 28$ ,  $r = 0,75$

## 6.5 Spezielle Untersuchungen

### 6.5.1 Untersuchungen zum Thermolumineszenzverhalten von natürlichen Mineralien

Th. Reddmann

Die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten galten dem Aufbau eines automatischen Meßplatzes, der Verbesserung der Probenaufbereitung und einer Beurteilung verschiedener Methoden der Dosisratenbestimmung.

Die Installation eines automatischen Auswertegerätes, das vom dänischen Forschungszentrum in Risoe speziell für die Anwendungen der TL-Datierung gebaut wird, ermöglicht durch die eingebauten  $\beta$ -Quellen ( $Sr-90/Y-90$  von 185 bzw. 1 500 MBq) die für die Dosisbestimmung notwendige Aufnahme der Dosiswachstumskurven für die 1. und 2. Ausheizung, ohne daß hierzu die bis zu 24 Proben entnommen werden müssen. Für die Messung der gegenüber Verunreinigungen der Ofenatmosphäre besonders empfindlichen Feinkornproben läßt sich das Gerät innerhalb einer Stunde auf etwa 2 Pa evakuieren. Das neue Auswertegerät bringt eine erhebliche Arbeitserleichterung mit sich, da bei der Uneinheitlichkeit des natürlichen Probenmaterials zahlreiche Messungen durchgeführt werden müssen, um die statistische Meßunsicherheit gering zu halten. Wegen der in der Nähe angeordneten radioaktiven Quellen war der Dunkelstrom des photonenzählenden Systems, verursacht durch Szintillationen im Photomultiplier unbefriedigend hoch. Hier konnten Abschirmmaßnahmen am Multiplier diesen Anteil am Dunkelstrom um einen Faktor 3 reduzieren. Auch der Wärmekontakt ist nicht immer konstant

genug, bedingt einerseits durch die Bauart des Heizelementes und eine ungenaue Positionierung, andererseits durch den relativ kleinen Wärmeleitkoeffizienten der verwendeten Edstahlscheiben. Hier könnten Nickelscheiben eine Verbesserung bringen.

Die Datenreduktion erfolgt nun am Abteilungsrechner von HS/D. Hierzu wurden die in BASIC geschriebenen Auswertprogramme auf FORTRAN übertragen und erweitert. Sie ermöglichen die automatische Plateau-Analyse, Erstellung von Wachstumskurven und deren Darstellung in Form von reproduzierfähiger Grafik.

Die Kalibrierung der eingebauten Sr-90-Quellen stellte ein besonderes Problem dar, da sie unter den tatsächlichen Bestrahlungsbedingungen erfolgen muß, d.h. also unter Einbeziehung der Rückstreuung an der Stahlscheibe sowie unter Berücksichtigung der Materialeigenschaften der verwendeten Meßprobe (in erster Linie Quarz). Hier wurde folgender Weg beschritten: Quarzkörnchen im Größenbereich 80-140  $\mu\text{m}$  (Merck-Quarz) wurden im Feld der Cs-137-Quelle des Hochdosisstandes in einer ca. 1 cm hohen, lichtdicht verpackten Petrischale aus Glas bestrahlt. Dies gewährleistete einen minimalen Gradienten im Sekundärelektronenfeld bei nur kleiner Absorption der primären Photonen-Strahlung. Die in diesen Körnchen akkumulierte Dosis ist dann durch den Absorptionskoeffizienten von Quarz gegeben. Dieser Quarz wurde dann, um Schwankungen der Meßapparatur zu vermeiden, zusammen mit im Meßgerät verschieden stark bestrahltem Quarz gemessen. Die Dosisleistung der  $\beta$ -Quellen ergibt sich dann als Quotient der bekannten  $\gamma$ -Dosis und der Bestrahlungszeit, die notwendig ist, um das gleiche TL-Signal mit den  $\beta$ -Quellen zu erzeugen ( zu beachten ist die Nichtlinearität der Dosischarakteristik). Insgesamt konnte bei dieser Kalibrierung die relative statistische Meßunsicherheit auf 1 % (1  $\sigma$ -Wert) reduziert werden.

Bei den verschiedenen Stufen der Probenaufbereitung stellt die Separierung der verschiedenen Mineralfraktionen einen der wichtigsten Schritte dar, da sich die verschiedenen Minerale teilweise erheblich in ihren TL-Eigenschaften unterscheiden. Bei der von uns benutzten Methode der Schwerentrennung kommt es darauf an, schon in diesem Stadium relativ "saubere" Körnchen zu haben. Hier konnte eine Behandlung des Probenmaterials mit einer wäßrigen Lösung aus Ammoniumoxalat und Oxalsäure eine deutliche Reduzierung der insbesondere an Quarzkörnchen gebrannter Keramik oft haftenden eisenhaltigen Verbindungen erreicht werden. Für Messungen der Feinkornphase von Calcit zeigte sich, daß eine Behandlung mit Essigsäure für reproduzierbare Ergebnisse unabdingbar ist. Damit sich dabei der Kalkstaub nicht auflöst, muß diese Behandlung äußerst kurz erfolgen. Weitere Untersuchungen galten der Trennung von Feinkornmineralfraktionen durch Zentrifugieren.

Es liegen nun in einigen Fällen Aktivitätsmessungen von Proben vor, die mit Großflächenzählern und spektroskopischen Methoden gewonnen wurden. Hierbei deutet sich an, daß der Großflächenzähler kein so starkes Überzählen zeigt, wie es bei Szintillationszählern beobachtet wird, und dieses Überzählen offensichtlich ein systematischer und kein probenspezifischer Effekt ist. Der Großflächenzähler ist damit ideal geeignet, die Bruttoaktivität natürlicher Proben insbesondere für Authentizitätsmessungen zu bestimmen, sofern genügend Probenmaterial vorhanden ist (> 10 g).

Als Sonderuntersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Ernährung Messungen an Gewürzen vorgenommen, die bei Erhitzung Lumineszenz zeigen, welche nach Bestrahlung stark ansteigen kann. Ein Beispiel zeigt Abb. 6/16. Verschiedene Messungen zeigen jedoch, daß u.U. auch negative Dosischarakteristik auftritt, und somit Thermolumineszenzmessungen wohl nur in Verbindung mit anderen Meßmethoden aussagekräftig werden können.

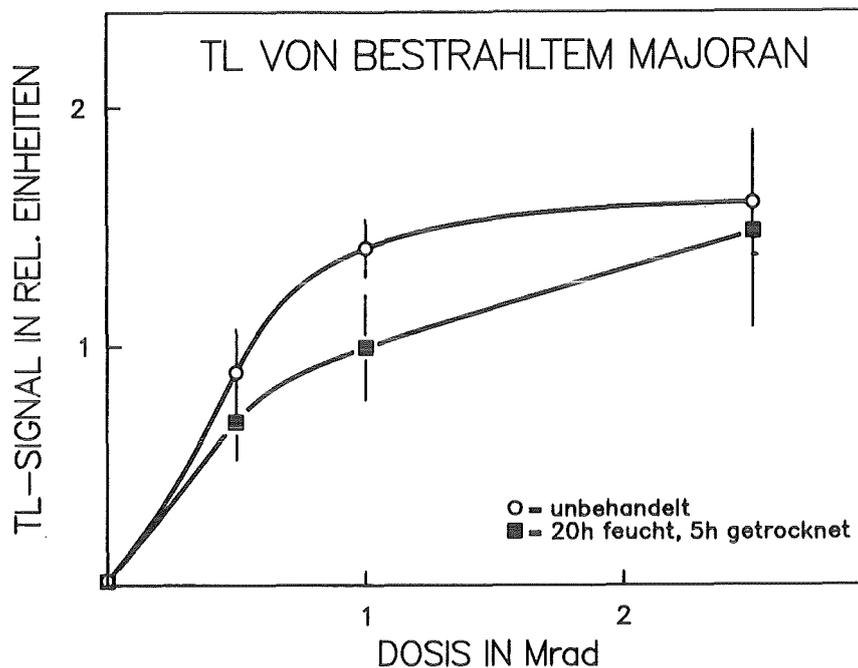


Abb.6/16: TL von Gewürzen; Dosischarakteristik von bestrahltem Majoran

#### 6.5.2 Datierung von pleistozänen Travertinproben aus den Steinbrüchen in Stuttgart/Bad Cannstatt

Th. Reddmann

Die Messungen des Thermolumineszenzsignals von natürlichen Mineralien (Quarz, Feldspäte, Calcit) erlauben in bestimmten Fällen diejenige Strahlenexposition zu bestimmen, die ein Mineral über historische und geologische Zeiträume akkumuliert hat. Voraussetzung hierbei ist, daß es dabei ein Ereignis gegeben haben muß, durch das die Thermolumineszenz des Minerals gelöscht wurde. Die Dosis darf allerdings noch keinen Sättigungswert erreicht haben. Je nach Mineral und Probe kann dieses Ereignis das Brennen einer Keramik sein, in die das Mineral eingebettet ist, aber auch, wie z.B. im Falle von Calcit, die Bildung des Minerals selbst. Im einfachsten Fall zeitlich konstanter natürlicher Dosisleistung ergibt sich das Alter einer Probe aus dem Verhältnis der Dosisanzeige und der Dosisleistung.

Schwerpunkt der Datierung war die Messung von Travertinproben aus den Sauerkalksteinbrüchen in Stuttgart/Bad-Cannstatt, wo in einer Schicht Funde auf einen Jagdplatz des "Homo erectus" weisen. Nach Reinigung des Materials durch Schwereretrennung konnten reproduzierbare Glowkurven des Calcits und auswertbare Wachstumskurven erhalten werden. Da bei der Bildung des Materials durch die bevorzugte Löslichkeit von Uran im Material ein extremes radioaktives Ungleichgewicht vorliegt,

ändert sich mit der Nachbildung der Töchter der Uranreihe die natürliche Dosisrate. Eine Thermolumineszenz-Datierung ist deshalb nur dann möglich, wenn gleichzeitig aus radiochemischen Messungen eine U/Th-Datierung durchgeführt wird, mit der sich dann zeitabhängige Dosisraten berechnen lassen. Beide Methoden sollten in geschlossenen Systemen zum gleichen Ergebnis führen.

Probe	U-230 (Bq/kg)	U-234 (Bq/kg)	Th-230 (Bq/kg)	U/Th-Alter (1 000 Jahre)	TL-Dosis (Gy)
85041	1,75	3,30	3,46	280	124
85042	1,99	3,03	3,85	∞	161
85043	4,48	5,81	7,07	∞	195
85044	3,40	4,55	4,44	270	150
85044	2,53	4,00	3,66	190	129

Tab. 6/7: Radiochemisch ermittelte spezifische Aktivität und TL-Ergebnisse von Travertinproben aus Stuttgart, Bad-Cannstatt

Tab. 6/7 gibt die radiochemisch von HS/R bestimmten Aktivitätskonzentrationen und die gemessenen TL-Werte wieder. Es zeigt sich, daß die resultierenden U/Th-Daten weit streuen und sich nicht mit den TL-Dosen vereinbaren lassen. Dies kann durch dauernde Auslösung von Uran nach der Deposition erklärt werden. In einem einfachen Transportmodell unter der Annahme einer zeitlich konstanten Transportrate wurde dieser Prozess berücksichtigt und in eine Art Best-fit-Problematik überführt. Abb. 6/7 zeigt die Summe der Abweichungen der Modelwerte von den gemessenen Werten in Abhängigkeit von der Zeit. Ihr Minimum liegt für alle Proben bei etwa 300 000 Jahren. Dieses gegenüber stratigraphisch ermittelten Daten um etwa 100 000 Jahre höhere Alter stimmt jedoch mit den Erwartungen der Archäologen überein, die eher noch größere Werte bevorzugen würden.

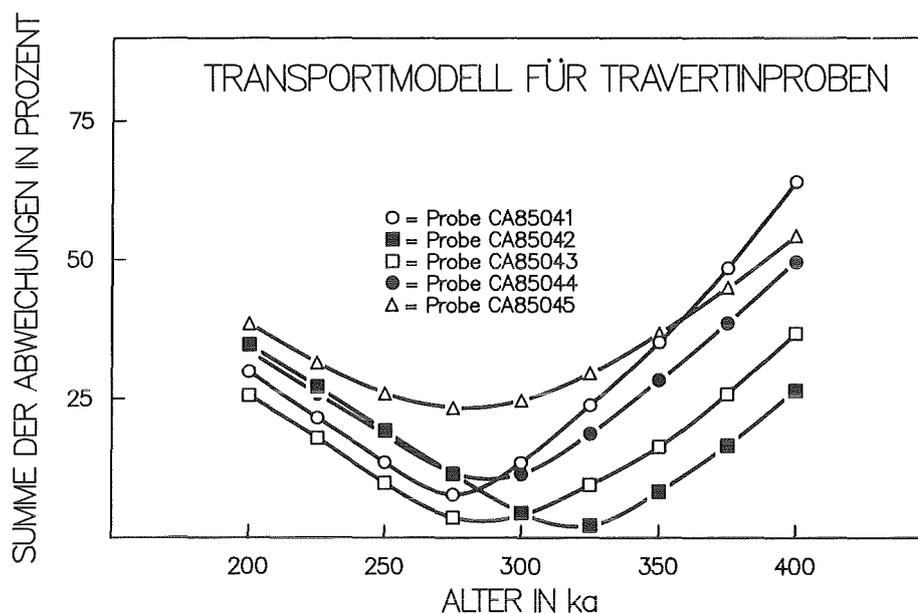


Abb. 6/17: Quadratische Summe der Abweichungen der im Transportmodell berechneten von den gemessenen Werten (Aktivitätskonzentration und TL-Dosis) in Abhängigkeit von einem angenommenen Alter der Proben

Der hohe Anteil von mineralischen Verunreinigungen bietet prinzipiell die Möglichkeit, diese Minerale ebenfalls für die Datierung heranzuziehen. Sind die Körnchen größer als etwa 50 µm, zeigen sie praktisch nur die β- und γ-Komponente der natürlichen Strahlung an, und das resultierende Alter wäre bei dem relativ hohen Kalium-Gehalt dieses Travertin unabhängiger von Transportphänomenen. Es wurden daher einige Kilogramm Travertin in HCl aufgelöst und die unlöslichen Bestandteile in die Mineralfractionen getrennt (Quarz und Feldspäte). Diese Messungen erbrachten jedoch in sich keine konsistenten Ergebnisse, was darauf hindeutet, daß sich die Bildung des Travertins in einer Schicht vollzog, wo keine ausreichende, für die Datierung aber notwendige Löschung des ursprünglichen TL-Signals durch die UV-Komponente des Sonnenlichts möglich war. Die pflanzlichen Überreste im Travertin lassen Bewuchs als hierfür wahrscheinlichste Ursache erscheinen.

## 6.6 Inkorporationsmessung

### 6.6.1 Routine- und Sondermessungen

H. Graffunder, H. Doerfel

Alle Mitarbeiter von KfK, KBG, WAK und TU, die mit offenen radioaktiven Stoffen umgehen, werden routinemäßig auf inkorporierte Radionuklide untersucht. Die Häufigkeit der Untersuchungen richtet sich nach dem Inkorporationsrisiko sowie nach der effektiven Halbwertszeit der gehandhabten Stoffe. So genügt bei schwerflüchtigen und langlebigen Stoffen bereits eine routinemäßige Inkorporationsmessung pro Jahr, während bei leichtflüchtigen und kurzlebigen Stoffen bis zu 12 Routinemessungen pro Jahr erforderlich sein können. Ergeben sich bei der Handhabung radioaktiver Stoffe konkrete Hinweise auf die Möglichkeit einer akuten Inkorporation, so werden zusätzlich zu den Routinemessungen sofortige Sondermessungen durchgeführt.

Die Inkorporationsmessungen werden im Ganzkörperzähler bzw. im Lungenzähler durchgeführt. Im Ganzkörperzähler können prinzipiell alle Gamma-Strahler mit Energien von mehr als 50 keV und alle Beta-Strahler mit Energien von mehr als 500 keV nachgewiesen werden sowie alle Alpha-Strahler, bei denen der Alpha-Zerfall von der Emission einer charakteristischen Röntgen-Strahlung begleitet wird. Mit dem Ganzkörperzähler werden daher in erster Linie Inkorporationen von Spalt- und Aktivierungsprodukten erfaßt und mit dem Lungenzähler Inkorporationen von spaltbaren Radionukliden.

Die Tab. 6/8 vermittelt zunächst einen Überblick über die mit dem Ganzkörperzähler durchgeführten Inkorporationsmessungen. Während die Anzahl der routinemäßigen Messungen gegenüber dem Vorjahr nahezu unverändert blieb, ist die Anzahl der Messungen aus besonderem Anlaß erheblich zurückgegangen. Seit dem 01.05.86 wurde bei allen untersuchten Personen zunächst mit abnehmender Tendenz nur I-131 und danach mit zunehmender Tendenz auch Cs-134 und Cs-137 nachgewiesen. Bei den Cäsium-Inkorporationen stimmte das Isotopenverhältnis innerhalb der durch den Meßfehler bedingten Schwankungsbreite stets mit dem in Tschernobyl freigesetzten Isotopengemisch überein. Aus diesem Grund können alle ab Mai nachgewiesenen Cäsium-Inkorporationen mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Fallout von Tschernobyl zurückgeführt werden. Bedingt durch die erhöhte Cäsium-Körperaktivität mußten die routinemäßigen Inkorporationsmessungen im Lungenzähler ab Mai ausgesetzt werden. Aus diesem Grund ist die Anzahl der im Lungenzähler untersuchten Mitarbeiter (Tab.6/9) gegenüber dem Vorjahr erheblich zurückgegangen.

Überwachungsbereich	Anzahl der überwachten Mitarbeiter	Routinemäßige Inkorporationsmessungen		Inkorporationsmessungen aus besonderem Anlaß	
		Gesamtanzahl der Messungen	Anzahl der Messungen mit positivem Befund	Gesamtanzahl der Messungen	Anzahl der Messungen mit positivem Befund
HDB	392	524	366	9	3
HS	3	4	3	-	-
HS/ASS	1	1	1	-	-
HS/R	2	2	2	-	-
HS/UE	9	8	7	1	-
IGT	3	1	1	2	1
IHCH	13	16	9	2	2
IK III	4	4	2	-	-
IMF I	2	2	1	-	-
IMF II	7	7	7	-	-
INE	9	12	11	-	-
INEP	1	1	0	-	-
INR	2	2	2	-	-
IRCH	9	12	10	-	-
IT	2	2	2	-	-
KTB	2	3	1	-	-
KTB-BI	36	55	19	-	-
KTB-HZ	44	75	40	-	-
TB-SN	6	3	3	4	3
LAF II	16	38	24	2	2
LIT	19	19	1	-	-
SKT	1	1	-	-	-
VBW	4	5	3	-	-
VBW-BW	16	21	17	1	-
VBW-E	1	1	1	-	-
KNK	120	120	119	-	-
MZFR	81	96	42	1	1
PHDR	7	7	6	-	-
TU	85	86	79	3	3
WAK	423	785	565	12	7
Gesamt	1320	1913	1344	37	22

Tab. 6/8: Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung im Ganzkörperzähler

Überwachungsbereich	Anzahl der überwachten Mitarbeiter	Routinemäßige Inkorporationsmessungen		Inkorporationsmessungen aus besonderem Anlaß	
		Gesamtanzahl der Messungen	Anzahl der Messungen mit positivem Befund	Gesamtanzahl der Messungen	Anzahl der Messungen mit positivem Befund
HDB	7	4	-	3	1
HS-D	1	1	-	-	-
HS/R	1	1	-	-	-
HS	4	4	-	-	-
HS/Ü	1	1	-	-	-
IGT	9	8	-	1	-
IICH	36	36	2	-	-
IK III	4	4	-	-	-
IKVT	7	7	-	-	-
IMF I	9	9	-	-	-
IMF II	4	4	-	-	-
INE	14	14	2	-	-
INR	2	2	-	-	-
IRCH	16	16	1	-	-
IT	4	45	-	-	-
KTB-IIZ	3	3	-	-	-
KTB-SN	1	-	-	1	-
LAF II	1	1	-	-	-
LAF	1	-	-	1	-
TU	18	15	-	3	-
WAK	5	-	-	5	1
Gesamt	148	134	5	14	2

Tab. 6/9: Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung im Lungenzähler

Inkorporiertes Nuklid	Anzahl der Inkorporationen				
	0 - 0,099 % MPBB	0,1 - 0,99 MPBB	1 - 9,9 % MPBB	10 - 99 % MPBB	100-200 % MPBB
Co-60	15	46	7	-	-
Co-58	2	2	-	-	-
Zr-95	-	1	-	-	-
I-131 <sup>2)</sup>	4	3	1	1 + 1 <sup>1)</sup>	1
Cs-134 <sup>3)</sup>	1	-	-	-	-
Cs-137 <sup>3)</sup>	15	1	-	-	-
Am-241	2	2	3	-	-

1) Nuclearmedizinischer Test, 2) ohne Berücksichtigung der vom 01.05.86 bis zum 01.08.86 nachgewiesenen Inkorporationen, 3) ohne Berücksichtigung der nach dem 01.05.86 nachgewiesenen Inkorporationen

Tab.6/10: Übersicht über die im Ganzkörper- und im Lungenzähler nachgewiesenen Inkorporationen in Prozenten der maximal zulässigen Körperbelastung (MPBB)

Die Tab. 6/10 vermittelt einen Überblick über die bei den Messungen festgestellten berufsbedingten Inkorporationen bezogen auf die maximal zulässige Körperbelastung (MPBB). In allen Fällen, in denen

der Inkorporationszeitpunkt bekannt war, wurde aus den Meßergebnissen anhand der ICRP-Modelle die Aktivitätszufuhr abgeschätzt und auf den Grenzwert der jährlichen Aktivitätszufuhr bezogen. In allen übrigen Fällen wurden die Meßergebnisse auf die jeweiligen Grenzwerte der Körper- bzw. Organaktivität bei Dauerbelastung bezogen.

#### 6.6.2 25 Jahre Referenzmessungen im Karlsruhe Ganzkörperzähler

H. Doerfel

Nach Installation des ersten Ganzkörperzählers im Kernforschungszentrum wurde im Jahr 1961 eine Referenzgruppe zur regelmäßigen Bestimmung der Cs-137-Körperaktivität im Menschen eingerichtet. Die Referenzgruppe besteht aus etwa 20 Mitarbeitern der Hauptabteilung Sicherheit, die keinen Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen und daher kein berufliches Inkorporationsrisiko haben. Nach dem Unfall von Tschernobyl wurde die Referenzgruppe um etwa 20 Kinder erweitert. Die Tab. 6/11 zeigt die momentane Alters- und Gewichtsstruktur der Referenzgruppe. Das mittlere Alter der Frauen ist nahezu 20 % kleiner als das mittlere Alter der Männer. Die Altersstruktur ist daher zwar repräsentativ für die Arbeitswelt, nicht aber für die Allgemeinheit. Die Gewichtsstruktur kann dagegen als repräsentativ für die Bevölkerung angesehen werden. Bei den Jungen ist sowohl das mittlere Alter als auch das mittlere Gewicht etwa 14 % geringer als bei den Mädchen. Diese Unterschiede fallen im vorliegenden Zusammenhang allerdings nicht ins Gewicht. Leider war es bisher nicht möglich, Jugendliche im Alter zwischen 13 und 20 Jahren für die Referenzgruppe zu gewinnen.

	Alter in Jahren			Gewicht in kg		
	Min.	Durchschn..	Max.	Min.	Durchschn.	Max.
Männer	21	40	57	61	75	124
Frauen	21	33	51	51	59	70
Jungen	2	6	10	12	21	32
Mädchen	3	7	12	15	24	36

Tab. 6/11: Alters- und Körpergewichtsstruktur der Karlsruher Referenzgruppe

Die Referenzmessungen wurden in monatlichem Abstand zunächst mit dem in Abb. 6/18 dargestellten ersten Ganzkörperzähler und seit 1981 mit dem in Abb. 6/19 dargestellten neuen Ganzkörperzähler durchgeführt. Die Meßzeit betrug jeweils 50 min. Bei dieser Meßzeit lag die untere Nachweisgrenze des ersten Ganzkörperzählers bei etwa 25 Bq Cs-137 und die des neuen Ganzkörperzählers bei etwa 15 Bq Cs-137.

Die Tab. 6/12 vermittelt einen Überblick über die Ergebnisse der seit 1961 durchgeführten Referenzmessungen. In den Jahren vor 1986 war die Cs-137-Körperaktivität ausschließlich auf den Fallout der oberirdischen Kernwaffentest zurückzuführen. In den Jahren 1961 und 1962 wurden von der

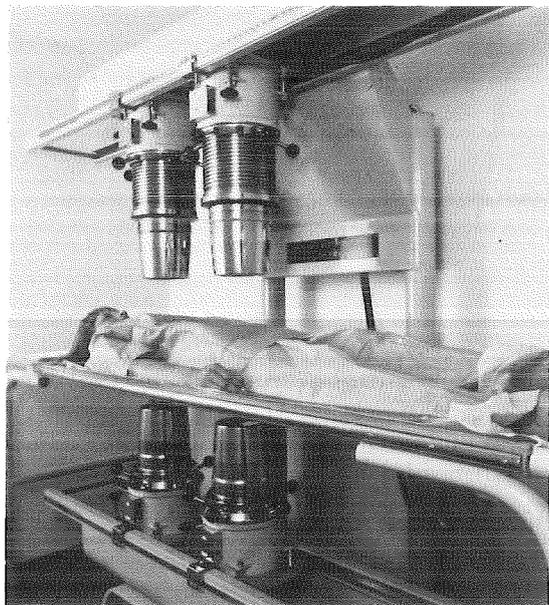


Abb. 6/18: Der erste KfK-Ganzkörperzähler  
4 NaI(Tl)-Detektoren (4,5"x3,5")

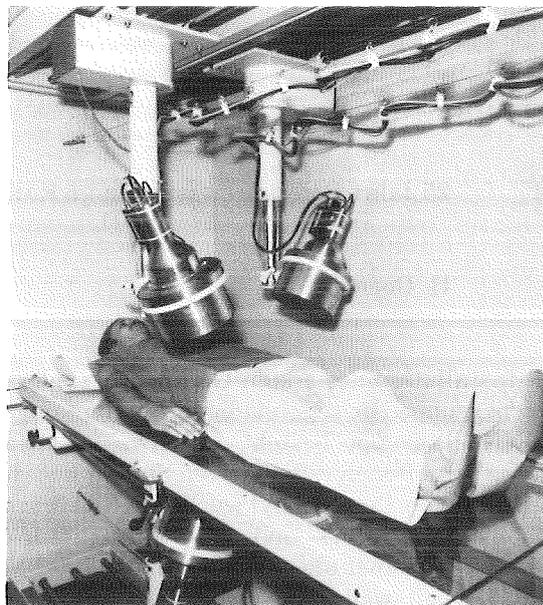


Abb. 6/19: Der neue KfK-Ganzkörperzähler  
4 NaI(Tl)-Detektoren (8"x4")

UdSSR und von den USA insgesamt 127 oberirdische Kernwaffentests mit einer Gesamtsprengkraft von etwa 340 Mt TNT durchgeführt (UNSCEAR 1982). Die Sprengkraft dieser Testserie war etwa doppelt so groß wie die Gesamtsprengkraft aller von 1945 bis 1960 durchgeführten Testexplosionen. Durch die zeitliche Konzentration der Tests stieg die mittlere spezifische Cs-137-Körperaktivität von etwa 1,6 Bq/kg im Jahr 1961 auf etwa 10 Bq/kg im Jahr 1964 an. Nach Durchlaufen des Maximums nahm die Körperaktivität mit einer effektiven Halbwertszeit von etwa 1,5 a bis auf etwa 1,1 Bq/kg im Jahr 1969 ab. Seit 1970 ist die effektive Halbwertszeit deutlich größer geworden. Sieht man von den mittelfristigen Schwankungen ab, so ergibt sich langfristig eine effektive Halbwertszeit von etwa 12 Jahren. In den drei letzten Quartalen von 1978 und den beiden ersten Quartalen von 1979 lag die mittlere spezifische Cs-137-Körperaktivität deutlich unter der Nachweisgrenze. Danach stieg die Körperaktivität wahrscheinlich infolge von chinesischen Kernwaffentests wieder auf meßbare Werte an. Im dritten Quartal 1981 konnten wegen Umbauarbeiten am Ganzkörperzähler keine Referenzmessungen durchgeführt werden.

Seit dem Unfall von Tschernobyl wird ein steiler Anstieg der Körperaktivität beobachtet. Zur Verdeutlichung dieses Anstieges zeigen die Tab. 6/12 und 6/13 die Monatsmittelwerte der spezifischen Cs-137-Körperaktivität für Männer und Frauen bzw. für Jungen und Mädchen der Referenzgruppe (siehe auch Abb. 8/14 und 8/15). So hat sich von Mai bis Juli 1986 die Cs-137-Körperaktivität etwa jeden Monat verdoppelt. Zum Vergleich lag in den Jahren 1962 und 1963 die Verdoppelungszeit im Mittel bei etwa 8 Monaten.

Bei den Kindern erreichte die mittlere spezifische Cs-137-Körperaktivität im August 1986 einen Maximalwert von 7,55 Bq/kg. Bei den Erwachsenen wurde ein Maximalwert von 6,56 Bq/kg im November

Jahr	Mittlere spezifische Cs-137-Körperaktivität in Bq/kg			
	1. Quartal	2. Quartal	3. Quartal	4. Quartal
1961	-	1,61	1,66	1,50
1962	1,57	1,70	1,37	1,92
1963	3,27	4,08	6,94	8,28
1964	10,13	10,09	10,29	9,36
1965	8,41	7,34	6,60	6,22
1966	5,61	5,29	5,74	5,35
1967	4,55	3,60	2,78	3,02
1968	2,26	1,57	1,76	1,91
1969	0,96	1,08	1,17	1,23
1970	1,14	1,02	1,05	1,06
1971	0,91	0,88	1,04	1,12
1972	1,24	1,02	1,05	1,05
1973	0,91	0,79	0,71	0,69
1974	0,48	0,73	0,76	0,75
1975	1,04	0,97	0,89	0,75
1976	0,84	0,69	0,57	0,39
1977	0,28	0,34	0,27	0,39
1978	0,31	-	-	-
1979	-	-	0,28	0,36
1980	0,84	0,81	0,70	0,71
1981	0,35	0,40	-	0,40
1982	0,31	0,29	0,32	0,27
1983	0,38	0,38	0,38	0,34
1984	0,34	0,34	0,39	0,34
1985	0,46	0,26	0,41	0,67
1986	0,53	1,13	5,04	6,12

Tab. 6/12: Quartalsmittelwerte der spezifischen Cs-137-Körperaktivität in der Karlsruher Referenzgruppe

registriert. Bei einigen Referenzpersonen, die ihre Sommerferien in Griechenland verbracht haben, war die spezifische Körperaktivität nach der Rückkehr auf mehr als 20 Bq/kg angestiegen. Diese Personen wurden in der Folgezeit bei der Mittelwertbildung nicht mehr berücksichtigt.

Es gibt verschiedene Hinweise darauf, daß die Cs-137-Körperaktivität der Bevölkerung im südöstlichen Mittelmeerraum generell weit über den hier ermittelten Werten liegt. So wurde bei einem türkischen Gastarbeiter, der im Sommer sechs Wochen in seiner Heimat verbrachte, eine spezifische Cs-137-Körperaktivität von etwa 100 Bq/kg ermittelt.

Monat	Mittlere spezifische Cs-137-Körperaktivität <sup>1)</sup> in Bq/kg		
	Männer	Frauen	Männer u. Frauen
Mai			0,91 (1,41)
Juni			2,07 (1,73)
Juli	3,68 (1,73)	5,38 (1,34)	4,35 (1,61)
August	4,82 (2,00)	5,14 (1,33)	4,98 (1,65)
September	5,71 (1,68)	5,88 (1,50)	5,79 (1,59)
Oktober <sup>2)</sup>	6,34 (1,66)	6,09 (1,73)	6,21 (1,70)
November <sup>2)</sup>	6,70 (1,48)	6,43 (1,41)	6,56 (1,45)
Dezember <sup>2)</sup>	6,20 (1,42)	5,01 (1,79)	5,58 (1,58)

<sup>1)</sup> Werte für Mai und Juni: Privatpersonen aus dem Raum Karlsruhe; Werte ab Juli: Referenzgruppe,

<sup>2)</sup> ohne Berücksichtigung der Referenzgruppenmitglieder, die in den Ferien in südlichen Ländern waren

Tab.6/13: Monatsmittelwerte der spezifischen Cs-137-Körperaktivität bei den Erwachsenen der Karlsruher Referenzgruppe nach Tschernobyl (Geometrische Mittelwerte mit mittlerem Schwankungsfaktor in Klammern)

Monat	Mittlere spezifische Cs-137-Körperaktivität <sup>1)</sup> in Bq/kg		
	Jungen	Mädchen	Jungen u. Mädchen
Mai			1,35 (2,17)
Juni			4,32 (1,68)
Juli	6,81 (1,29)	5,06 (1,60)	6,10 (1,42)
August	8,90 (1,48)	6,23 (1,84)	7,55 (1,67)
September	7,20 (1,51)	7,16 (1,51)	7,18 (1,49)
Oktober	7,43 (1,27)	5,70 (1,52)	6,45 (1,43)
November	6,01 (1,34)	5,90 (1,53)	5,95 (1,44)
Dezember	7,13 (1,27)	5,42 (1,86)	6,12 (1,63)

<sup>1)</sup> Werte für Mai und Juni: Privatpersonen aus dem Raum Karlsruhe; Werte ab Juli: Referenzgruppe

Tab. 6/14: Monatsmittelwerte der spezifischen Cs-137-Körperaktivität bei den Kindern der Karlsruher Referenzgruppe nach Tschernobyl (Geometrische Mittelwerte mit mittlerem Schwankungsfaktor in Klammern)

### 6.6.3 Vergleich der Cs-137-Referenzmessungen in verschiedenen Ländern seit 1961

H. Doerfel

Seitdem Miller und Marinelli im Jahr 1956 erstmals Cs-137 durch In-vivo-Messung im Menschen nachgewiesen haben, wird der zeitliche Verlauf der Cs-137-Körperaktivität in vielen Ländern durch

regelmäßige Erhebungsmessungen beobachtet. Die Abb. 6/13 zeigt die in der Literatur verfügbaren Ergebnisse von Erhebungsmessungen aus den U.S.A. (Chicago, Cincinnati, Los Alamos). Japan (Tokio) und Großbritannien (Harwell) im Vergleich zu den Karlsruher Ergebnissen. Wie der Abbildung zu entnehmen ist, wurde in allen Laboratorien qualitativ etwa der gleiche zeitliche Verlauf der Cs-137-Körperaktivität beobachtet.

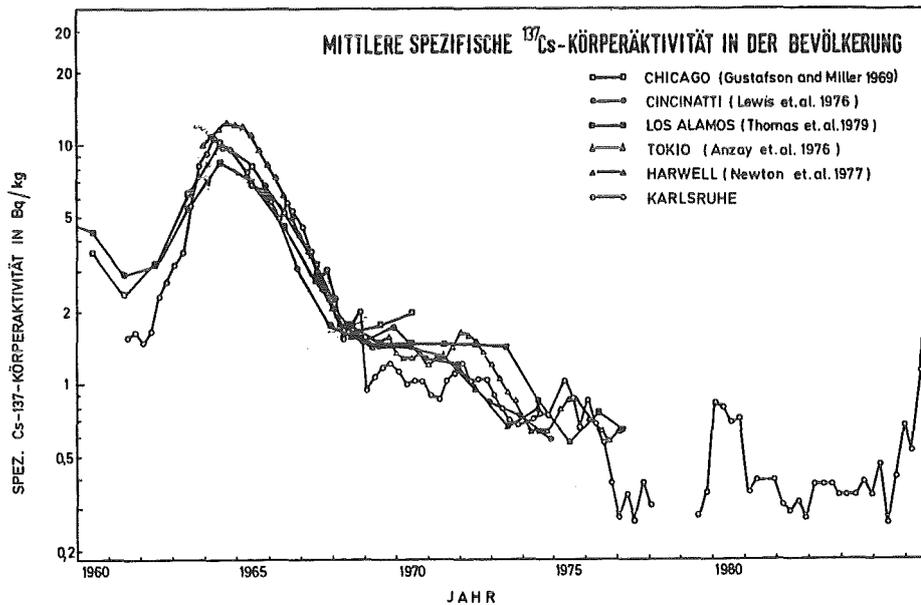


Abb.6/20: Zeitlicher Verlauf der mittleren spezifischen Cs-137-Körperaktivität für die Meßorte Chicago, Cincinnati, Los Alamos, Tokio, Harwell und Karlsruhe

In einigen arktischen Bevölkerungsgruppen wurden spezifische Cs-137-Körperaktivitäten von mehr als 370 Bq/kg gemessen. Die höchste in der Literatur berichtete Cs-137-Körperaktivität wurde bei einem Rentierzüchter aus der Gegend von Murmansk ermittelt (111 kBq). Diese extremen Werte sind allerdings nicht auf einen besonders hohen Cs-137-Fallout, sondern auf spezielle Anreicherungsprozesse von Cs-137 in der Kette Flechte-Rentier-Mensch zurückzuführen.

Die in den Jahren 1963 und 1964 in Karlsruhe, Chicago und Los Alamos gemessenen spezifischen Cs-137-Körperaktivitäten korrelieren recht gut mit den jeweiligen Falloutdaten. In Tab. 6/15 sind die für diese Orte verfügbaren Daten zusammengestellt. Der Fallout wurde anhand der geographischen Breite nach UNSCEAR 82 für die jeweiligen Orte berechnet. Etwa 40 % der gesamten Fallouts ist auf die große Kernwaffentestserie in den Jahren 1961 und 1962 zurückzuführen (vgl. Abschn. 6.6.2). Dieser zeitlich konzentrierte Fallout führte in den Jahren 1963 und 1964 offenbar zu einem Maximum der Cs-137-Körperaktivität. Die fünfte Spalte von Tab. 6/14 zeigt die über dieses Aktivitätsmaximum gemittelten Werte der spezifischen Cs-137-Körperaktivität, wobei die aus den früheren Jahren herrührende Vorbelastung durch lineare Interpolation der Werte von 1961 und 1969 separiert wurde. Setzt man die angegebenen Werte der Cs-137-Körperaktivität ins Verhältnis zu den Fallout-Daten, so erhält man für alle drei Orte nahezu übereinstimmende Verhältniszahlen (Tab. 6/15).

Demnach spiegelt sich die bei UNSCEAR 82 angegebene Breitenabhängigkeit des Cs-137-Fallouts zumindest an den drei betrachteten Orten sehr gut in der Cs-137-Körperaktivität der Bevölkerung wieder.

Ort	Geogr. Breite (Nord)	Cs-137-Fallout in kBq/m <sup>2</sup>		Spez. Cs-137-Körperakt. 1963-1964 <sup>1)</sup> in Bq/kg	Verhältnis Spalte 5/Spalte 4 in m <sup>2</sup> /kg
		1945-1980	1962-1964		
Karlsruhe	49	5,0	2,0	6,9	0,0035
Chicago	43	5,0	2,0	7,3	0,0037
Los Alamos	36	3,9	1,6	5,5	0,0034

1) gemittelt über das Maximum der spezifischen Cs-137-Körperaktivität von 1963 bis 1964 abzüglich der auf den Fallout aus den Jahren vor 1962 zurückzuführenden Komponente

Tab. 6/15: Vergleich des Cs-137-Fallouts mit der spezifischen Cs-137-Körperaktivität in der Bevölkerung für Karlsruhe, Chicago und Los Alamos

#### 6.6.4 Korrelation zwischen der Cs-137-Körperaktivität und dem Cs-137-Fallout im Raum Karlsruhe seit 1961

H. Doerfel

Zur Untersuchung des quantitativen Zusammenhangs zwischen der Cs-137-Körperaktivität und dem Cs-137-Fallout wurden die in den BMI-Jahresberichten "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung" angegebenen Fallout-Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach, mit Hilfe der im Kernforschungszentrum gemessenen Niederschlagsmengen auf den Karlsruher Raum umgerechnet. Die dabei für den Zeitraum von 1961 bis 1980 erhaltenen Quartalswerte des Cs-137-Fallouts sind in Tab. 6/15 aufgelistet. Für die Jahre 1962 bis 1964 erhält man danach einen Gesamt-Fallout in Höhe von etwa 1,0 kBq/m<sup>2</sup>. Dies entspricht etwa 50 % des nach UNSCEAR 82 für die Karlsruher Breite berechneten Fallouts (vgl. Abschn. 6.6.3). Aufgrund der besonderen Niederschlagsarmut im Oberrheingraben ist dies zumindest in der Tendenz durchaus realistisch.

In Abb. 6/23 sind die Fallout-Aktivitäten zusammen mit den in der Karlsruher Referenzgruppe ermittelten Cs-137-Körperaktivitäten (Tab. 6/11) aufgetragen. Die Gegenüberstellung zeigt, daß die Cs-137-Körperaktivität nahezu das gleiche zeitliche Profil wie der Cs-137-Fallout aufweist. Beide Profile sind um etwa ein Jahr gegeneinander verschoben.

Zur genaueren Analyse des Zusammenhangs zwischen den beiden Größen wurden die Meßergebnisse entsprechend der folgenden Beziehung entfaltet.

$$A_K(i) = \sum_j C(j) \cdot A_F(i-j) \quad (1)$$

$A_K(i)$  : mittlere spezifische Cs-137-Körperaktivität im Quartal i

$A_F(i)$  : gesamter Cs-137-Fallout im Quartal i

$C(j)$  : Beitrag des j Quartale zurückliegenden Fallouts zur Körperaktivität

Da sich der Einzugsbereich der im Karlsruher Raum konsumierten Lebensmittel nicht nur auf den relativ niederschlagsarmen Oberrheingraben erstreckt, wurden bei der Berechnung die in Tab. 6/16 angegebenen Werte zur Anpassung an die UNSCEAR-Daten verdoppelt. Aus statistischen Gründen können mit dem vorhandenen Datenmaterial nach Gl. (1) nur etwa acht C-Parameter bestimmt werden. Um dennoch einen hinreichend langen Zeitbereich erfassen zu können, wurde die Rechnung nur für gerade Werte von j durchgeführt und die Fallout-Daten dementsprechend modifiziert. Die Entfaltung ergab bei Anpassung der Parameter nach der Methode der kleinsten Quadrate die in Tab.6/16 aufgeführten Werte. Abgesehen vom letzten Parameter (j = 14) repräsentieren die Werte eine stetige Funktion. Geht man davon aus, daß der letzte Wert der Summe aller weiteren Parameter (j > 14) entspricht, so gelangt man nach weiteren Umrechnungen schließlich zu dem in Abb. 6/22 dargestellten Wirkungsprofil des Cs-137-Fallouts. Bei den Umrechnungen wurde entsprechend den Ergebnissen der Referenzmessungen angenommen, daß die langfristige Komponente der Cs-137-Körperaktivität mit einer effektiven Halbwertszeit von 12 a abklingt.

Demnach erreicht die spezifische Cs-137-Körperaktivität etwa 8 bis 9 Monate nach einem zeitlich punktuellen Fallout ihren Höchstwert und fällt danach mit einer effektiven Halbwertszeit von etwa 125 d wieder ab. Nach etwa drei Jahren ist die Körperaktivität bis auf die langfristige Komponente abgeklungen.

Überträgt man diese Ergebnisse auf den Fallout von Tschernobyl (1,7 kBq/m<sup>2</sup> im Raum Karlsruhe), so ergibt sich der in Abb. 6/23 dargestellte Verlauf für die zu erwartende spezifische Cs-137-Körperaktivität in der Karlsruher Bevölkerung. Die tatsächlich gemessene Körperaktivität hat zwar qualitativ den gleichen Verlauf, sie liegt jedoch im Mittel etwa um den Faktor 2 niedriger. Diese Diskrepanz ist vermutlich auf die nach dem Unfall von Tschernobyl getroffenen Maßnahmen zur Reduzierung der Cs-137-Aktivität in den Nahrungsmitteln sowie auf die veränderten Ernährungsgewohnheiten zurückzuführen.

Jahr	Cs-137-Fallout pro Quartal in Bq/m <sup>2</sup>			
	1. Quartal	2. Quartal	3. Quartal	4. Quartal
1961	9,4	20,5	27,5	93,0
1962	31,3	19,2	64,9	39,3
1963	70,5	196,2	104,0	95,1
1964	73,6	130,2	62,5	25,9
1965	45,0	122,3	60,3	29,5
1966	25,0	32,0	20,2	8,6
1967	13,7	13,6	9,0	3,5
1968	6,1	25,3	31,9	5,5
1969	7,3	17,1	15,3	3,1
1970	10,6	24,9	16,8	6,0
1971	4,5	22,9	3,1	2,6
1972	3,1	8,6	7,0	7,1
1973	1,6	3,5	2,8	12,6
1974	3,3	11,1	20,4	4,8
1975	3,4	10,0	5,1	2,5
1976	1,4	1,6	2,8	21,9
1977	2,7	11,7	6,0	5,5
1978	6,3	30,2	12,4	4,2
1979	5,3	4,7	2,6	0,6
1980	0,7	2,3	1,8	0,8

Tab. 6/16: Quartalswerte des Cs-137-Fallouts im Niederschlag für den Raum Karlsruhe nach Messungen des Deutschen Wetterdienstes (Cs-137-Aktivitätskonzentration im Niederschlag) und KfK-Messungen (Niederschlagsmengen)

j	C(j) in m <sup>2</sup> /kg
0	1,3 10 <sup>-3</sup>
2	8,2 10 <sup>-3</sup>
4	8,0 10 <sup>-3</sup>
6	3,8 10 <sup>-3</sup>
8	1,1 10 <sup>-3</sup>
10	4,2 10 <sup>-4</sup>
12	1,8 10 <sup>-4</sup>
14	2,4 10 <sup>-3</sup>

Tab.6/17: Werte für C(j) nach Entfaltung der Karlsruher Meßergebnisse entsprechend Gl. (1)

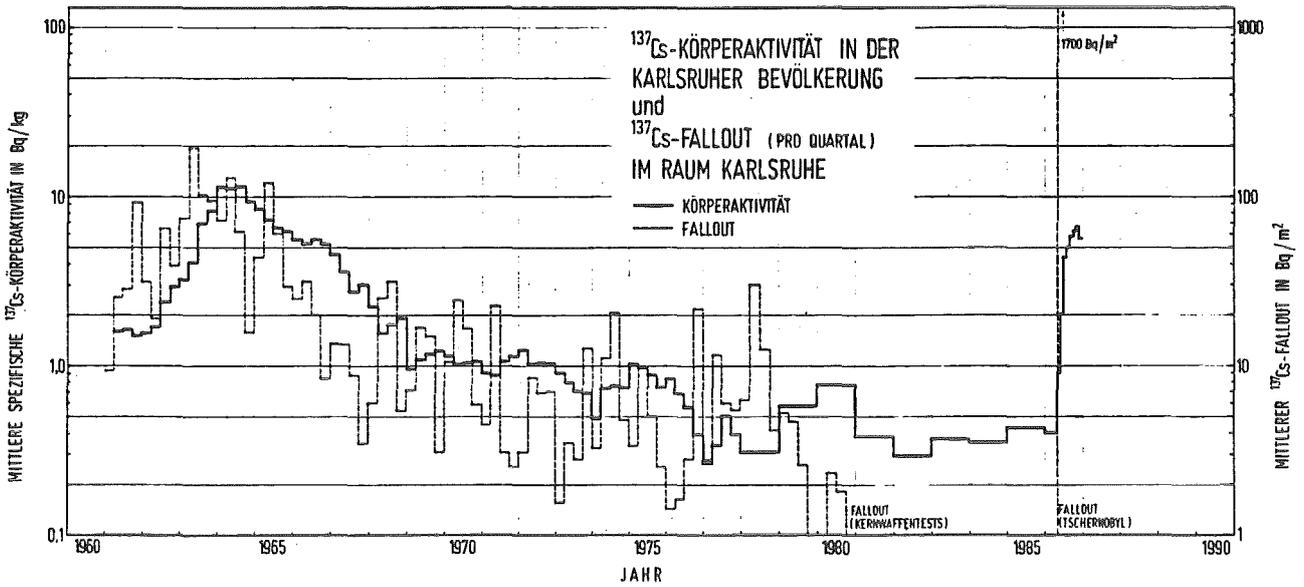


Abb. 6/21: Mittlere spezifische Cs-137-Körperaktivität in der Karlsruher Referenzgruppe (Erwachsene) im Vergleich zum Cs-137-Fallout im Raum Karlsruhe seit 1961

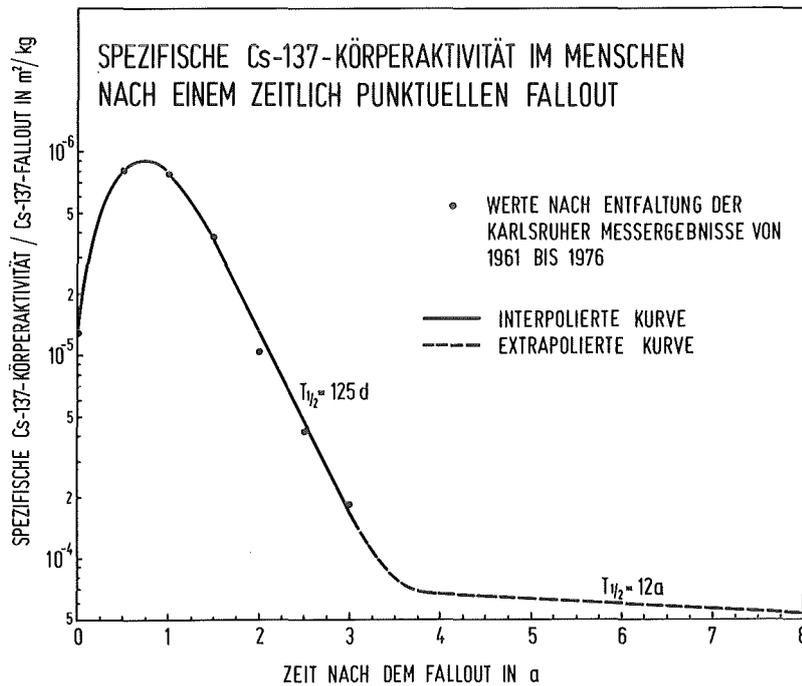


Abb. 6/22: Spezifische Cs-137-Körperaktivität im Menschen infolge eines zeitlich punktuellen Cs-137-Fallouts nach Entfaltung der Ergebnisse der Karlsruher Referenzmessungen von 1961 bis 1976

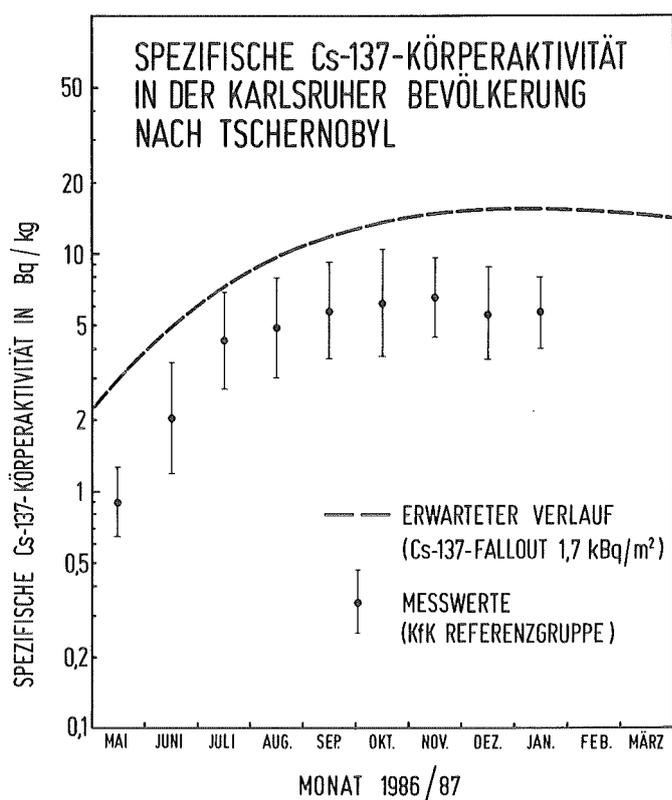


Abb. 6/23: Vergleich der aufgrund des Wirkungsprofils (Abb. 6/22) bei der Karlsruher Bevölkerung zu erwartenden spezifischen Cs-137-Körperaktivität mit den in der Referenzgruppe gemessenen Werten

#### 6.6.5 25 Jahre In-vivo-Messung von Transuranen bei KfK

H. Doerfel

Im Jahr 1961 wurden im Kernforschungszentrum Karlsruhe die ersten Großflächenproportionalzähler mit Doppelantikoinzidenz zur Messung der charakteristischen Röntgen-Strahlung von Plutonium und anderen Transuranen entwickelt. Ein Jahr später wurde mit Hilfe dieser Zähler erstmalig ein Verfahren zur In-vivo-Messung von Plutonium im Skelett und ein weiteres Jahr später ein Verfahren zur In-vivo-Messung von Plutonium in der Lunge bereitgestellt (Abb. 6/24). Aufgrund der sehr guten Eignung der Proportionalzähler zum Nachweis von reinem Plutonium wurden in den folgenden Jahren weitere Versionen mit Vollraumantikoinzidenz und mit Impulsformdiskriminierung gebaut. Die Praxis zeigte dann allerdings, daß der Nachweis von Plutonium in Gegenwart von anderen Radionukliden wie z.B. Am-241 wegen der geringen Ansprechwahrscheinlichkeit der Proportionalzähler für höherenergetische Strahler außerordentlich schwierig ist. Aus diesem Grund wurden die Proportionalzähler 1976 durch die neu auf den Markt gekommenen Phoswich-Detektoren ersetzt (Abb. 6/25). Mit diesen Detektoren wurden bis zum Unfall von Tschernobyl außerordentlich gute Erfahrungen gemacht. Sie zeichnen sich insbesondere dadurch aus, daß durch zweistufige Impulsformdiskriminierung simultan die nieder- und die höherenergetische Strahlung erfaßt werden kann. Dies ermöglicht unter bestimmten Voraussetzungen auch die indirekte Messung von Plutonium über mitinkorporierte Spaltprodukte (Leitnuklidverfahren).

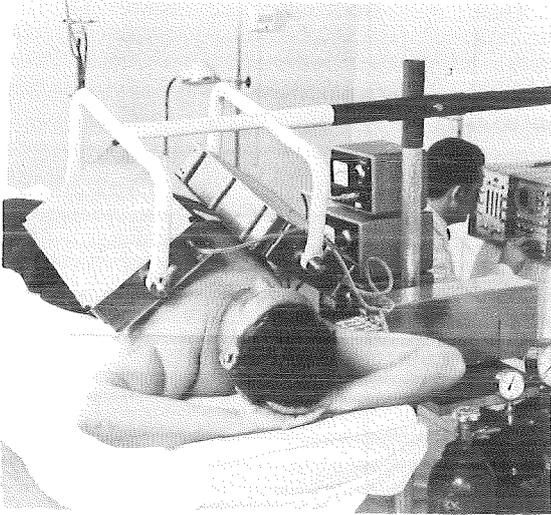


Abb. 6/24: Der erste KfK-Lungenzähler: Großflächenproportionalzähler mit Doppelantikoinzidenz, Nachweisgrenze 0,3 kBq Pu-239

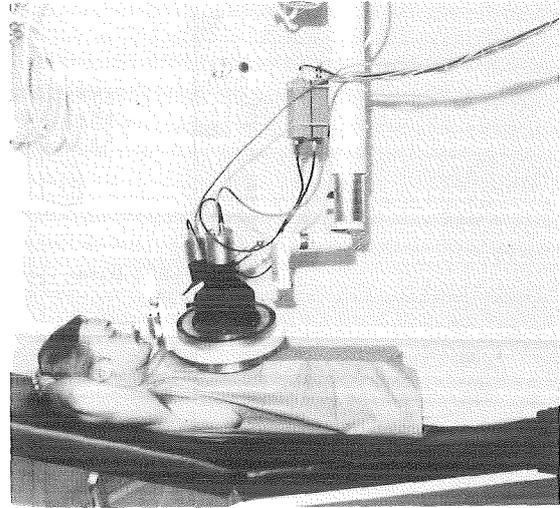


Abb. 6/25: Der neue KfK-Lungenzähler: Phoswich Detektoren mit zweistufiger Impulsformdiskriminierung, Nachweisgrenze 0,08-1 kBq Pu-239

#### Zusammenfassung der bisherigen Erfahrungen:

- Im kerntechnischen Bereich tritt Plutonium praktisch immer zusammen mit Am-241 auf. Die charakteristische Röntgen-Strahlung von Am-241 hat eine zehnmal so große Emissionswahrscheinlichkeit wie die von Pu-239 und stellt daher auch bei kleinen Aktivitätsanteilen bereits einen signifikanten Spektrumsbeitrag. Zur Separierung dieses Beitrags muß der Aktivitätsanteil von Am-241 genau bestimmt werden. Dies ist mit den Proportionalzählern nicht möglich.
- Bei den Proportionalzählern kann das Ansprechvermögen durch Erhöhung des Zählgasdruckes oder durch Verwendung eines schwereren Zählgases (Xenon) erhöht werden. Dies führt allerdings - bedingt durch die höheren Absorptionsverluste im Schutzzähler - zu keiner nennenswerten Verbesserung der Nachweisgrenze für Pu-239. Die Entwicklung derartiger Zähler wurde daher von KfK nicht weiter verfolgt.
- Mit den Phoswich-Detektoren kann durch zweistufige Impulsformdiskriminierung der gesamte Energiebereich von etwa 10 keV bis zu etwa 2500 keV erfaßt werden. Allerdings ist bei diesen Detektoren die Spektrumsauswertung infolge des schlechten Energieauflösungsvermögens und der Nichtlinearität des Nulleffekts wesentlich schwieriger als beim Proportionalzähler. Bei Aktivitäten bis zum Zehnfachen der unteren Nachweisgrenze (Abb. 6/26) zeichnen sich in den Bruttospektren der Phoswich-Detektoren im allgemeinen noch keine Peaks ab. Sie werden erst dann erkennbar, wenn man vom Bruttospektrum das Spektrum einer nichtexponierten Referenzperson mit den gleichen Körperproportionen und mit dem gleichen K-40-Gehalt subtrahiert. Im Rechner des KfK-Lungenzählers sind daher nahezu tausend Referenzspektren gespeichert, die anhand der biometrischen Daten der Probanden automatisch ausgewählt und zur Ermittlung der Nettospektren herangezogen werden.

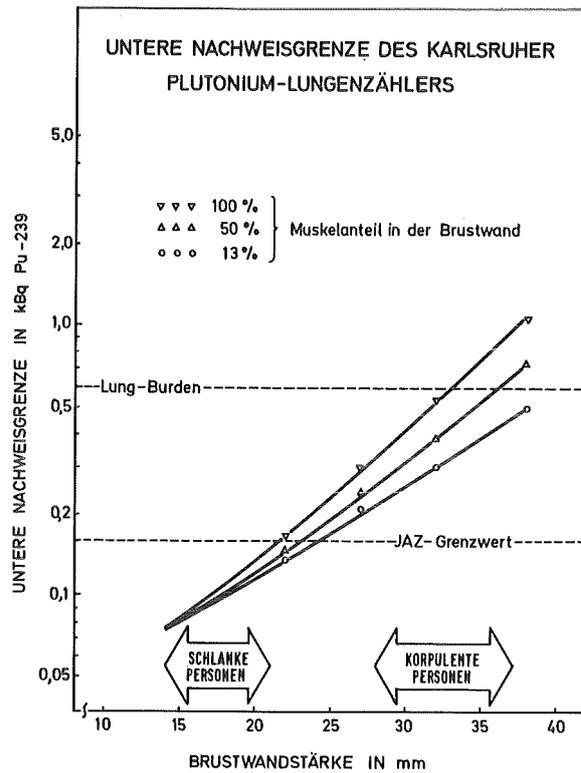


Abb. 6/26: Untere Nachweisgrenze des neuen KfK-Lungenzählers für homogene Pu-239-Lungen-depositionen nach Kalibrierung mit dem Lawrence-Livermore-Phantom

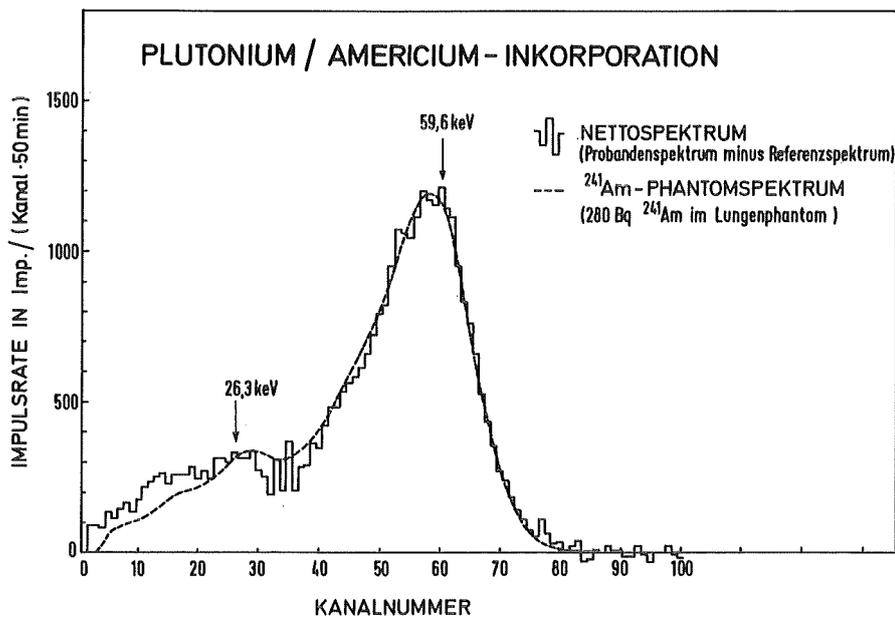


Abb. 6/27: Beispiel für eine mit dem neuen KfK-Lungenzähler nachgewiesene Plutonium/Americium Inkorporation: Probandenspektrum im Vergleich zum Am-241-Phantomspektrum

- Zur Separierung der Am-241-Komponente von der Pu-Komponente im Nettospektrum (Abb. 6/27) müssen die nuklidspezifischen Inkorporationsspektren mit einem genau angepaßten anthropomorphen Phantom reproduziert werden. Das Lawrence-Livermore-Phantom ist zu diesem Zweck sehr gut geeignet, wengleich das Backscatter-Verhalten des Phantoms - zumindest in dem in den Abb. 6/27 und 6/28 dargestellten Fall - nicht ganz realistisch ist. Zur Anpassung des Phantoms an die Körperproportionen des Probanden muß die Brustwandstärke mit einem Ultraschallgerät (B-Scanner) gemessen werden. Die Anpassung muß sehr genau erfolgen, da der Anpassungsfehler bei der Aktivitätsbestimmung von Plutonium doppelt eingeht.

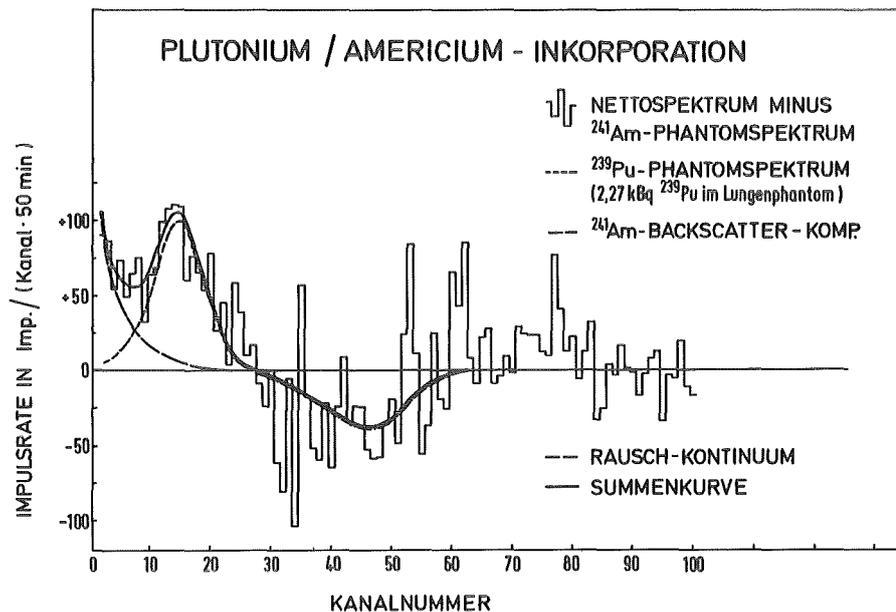


Abb. 6/28: Beispiel für eine mit dem neuen KfK-Lungenzähler nachgewiesene Plutonium/Americium Inkorporation. Probandenspektrum (Abb. 6/29) nach Abzug des Am-241-Phantomspektrums im Vergleich zum Pu-239-Phantomspektrum

- Die Lungenmessung kann durch Am-241-Depositionen im Skelett verfälscht werden. Eine entsprechende Abschätzung hat ergeben, daß eine gleichmäßig über die Knochenoberfläche verteilte Am-241-Aktivität - bedingt durch die relativ starke Knochenbelegung im Bereich des Thorax - eine etwa gleich große Lungenaktivität vortäuschen kann. Dies kann leicht zu einer Fehleinschätzung der effektiven Halbwertszeit des Am-241-Lungendepots führen.
- In manchen Arbeitsbereichen (Dekontamination, Abfallbehandlung, Wiederaufarbeitung) tritt Plutonium häufig auch in Verbindung mit Spaltprodukten auf. Zur Separierung der Streustrahlungskomponenten in den Spektren der Phoswich-Detektoren muß die Aktivität der Spaltprodukte in der gleichen Meßgeometrie bestimmt werden wie die Plutonium-Aktivität. Wenn das Verhältnis der inkorporierten Aktivitäten hinreichend genau bekannt ist, kann die Plutoniumaktivität - bei Berücksichtigung des unterschiedlichen Stoffwechselverhaltens - auch indirekt über die Aktivität der Spaltprodukte bestimmt werden. Mit diesem Leitnuklidverfahren wurden im KfK sowohl nach Zwischenfällen als auch im Rahmen der Routineüberwachung gute Erfahrungen gemacht. Besonders gut geeignet ist das Leitnuklid Cs-137, da es fast immer den höchsten Aktivitätsanteil stellt, leicht meßbar ist und einen relativ gut bekannten Stoffwechsel hat.

### Die Situation nach Tschernobyl

- Bedingt durch die zunehmende Cs-134- und Cs-137-Körperaktivität in der Bevölkerung kann das Leitnuklidverfahren nur noch bei relativ großen Aktivitätszufuhren angewendet werden. Die in der Vergangenheit bei KfK mit dem Leitnuklidverfahren registrierten Aktivitätszufuhren wären unter den gegenwärtigen Bedingungen wahrscheinlich nicht nachgewiesen worden.
- Die im KfK-Lungenzähler erstellte Referenzspektren-Bibliothek ist bis auf weiteres wertlos. Die durch die Körperproportionen und den K-40-Gehalt bedingten Unterschiede der Probandenspektren werden durch die individuellen Unterschiede in der Cs-134- und Cs-137-Körperaktivität vollständig maskiert.
- Die charakteristische Röntgen-Strahlung der Cäsium-Isotope, die energetisch zwischen der charakteristischen Röntgen-Strahlung der Transurane und der Gamma-Strahlung von Am-241 liegt, erhöht den zählstatistischen Fehler und erschwert die Peak-Erkennung in den Spektren der Phoswich-Detektoren. Dadurch wird die Nachweisgrenze für Am-241 mäßig und für Pu-239 massiv erhöht.

### Die weitere Entwicklung

- Aufgrund der Erfahrungen nach den oberirdischen Kernwaffentests dauert es mindestens drei Jahre, bis die durch Tschernobyl bedingte Cäsium-Körperaktivität soweit abgeklungen ist, daß die Nachweisgrenze der Phoswich-Detektoren wieder bei den ursprünglichen Werten liegt. Während dieser Zeit ist eine hinreichend empfindliche Bestimmung der Körperaktivität von Plutonium und anderen Transuranen nur mit Halbleiterdetektoren möglich.
- Die Halbleiterdetektoren ermöglichen außer einer zuverlässigen Separierung der Störstrahlungskomponenten bis zu einem gewissen Grad auch eine spektroskopische Trennung der charakteristischen Röntgen-Strahlung von Plutonium und Americium. Dadurch kann die bisher praktizierte Separierung der Röntgen-Strahlung (über die Gamma-Strahlung von Am-241) abgestützt oder gegebenenfalls korrigiert werden.
- Durch einen Intensitätsvergleich der drei Röntgen-Strahlungslinien von Plutonium und/oder Am-241 kann die effektive Absorption der Strahlung im Körper abgeschätzt werden. Dadurch können äußere Kontaminationen leichter erkannt werden als durch den bisher praktizierten Intensitätsvergleich der Röntgen-Strahlung mit der Gamma-Strahlung von Am-241. Außerdem kann durch die Abschätzung der effektiven Absorption die Kalibrierung verifiziert werden.

Angesichts dieser Situation soll die ursprünglich erst zu einem späteren Zeitpunkt vorgesehene Ergänzung des Karlsruher Lungenzählers mit Halbleiter-Detektoren baldmöglichst durchgeführt werden.

## 6.7 Strahlenschutzmeßtechnik

### 6.7.1 Aufgaben

#### A. Schmitt

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 müssen.

Der Bestand an elektronischen Geräten, der von der Hauptabteilung Sicherheit betreut wird, setzt sich aus einer großen Anzahl von Dosisleistungs- und Kontaminationsmonitoren, aus Meßplätzen zur Aktivitätsbestimmung, den ortsfesten Anlagen zur Pegel- und Luftüberwachung und wenigen, aber teuren und komplizierten Anlagen zur Spektroskopie zusammen. Da sich diese Geräte weiträumig in den verschiedenen Instituten und Abteilungen des Kernforschungszentrums befinden, ergibt sich zwangsläufig eine gewisse Unterteilung im Service, der soweit wie möglich von den betreffenden Abteilungen selbst durchgeführt wird. Die Arbeitsgruppe "Geräteelektronik" erfüllt hierbei folgende Aufgaben:

- regelmäßige elektronische Wartung und Kalibrierung der tragbaren Dosisleistungsmeßgeräte der KfK sowie als Auftragsarbeit für fünf Fremdfirmen,
- Mitarbeit bei der Eichung von Dosisleistungsmeßgeräten und Dosimetern durch die amtliche Eichabfertigungsstelle,
- Bestrahlung von Dosimetern zur Kalibrierung von Auswertegeräten sowie für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten,
- Reparatur aller HFK- und Kontaminationsmonitoren der KfK,
- Reparatur und Kalibrierung der Pegel- und Luftüberwachungsanlagen in den verschiedenen Instituten und Abteilungen der KfK und in der Umgebung,
- Reparatur sonstiger elektronischer Geräte aus dem Bereich der Abteilung Dosimetrie.

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

## 6.7.2      Wartung und Reparatur

### A. Schmitt

Kontrollen auf Funktionstüchtigkeit werden vor Ort vom Personal der Arbeitsplatzüberwachung regelmäßig durchgeführt. Defekte Geräte werden soweit wie möglich in der Elektronikwerkstatt instandgesetzt. Die Tab. 6/18 zeigt den Umfang an Wartungs- und Reparaturarbeiten dieser Werkstatt an tragbaren Strahlenschutzmeßgeräten, HFK-Monitoren und Aktivitätsmeßplätzen, zusammengefaßt an Hand der ausgestellten Reparaturscheine. Der Umfang der Arbeiten und die Verteilung auf die verschiedenen Arten von Geräten sind mit den Werten des Vorjahres vergleichbar. Ein anderes Bild zeigt die Aufschlüsselung nach der Art der reparierten Fehler (Tab. 6/19). Auffällig ist die große Zahl von Reparaturen mit Austausch der Folien von Großflächendetektoren.

Kontaminationsmonitoren	210
HFK-Monitoren	124
Fußbodenmonitoren	4
Wächemonitoren	11
Aktivitätsmeßplätze	25
Probenwechsler	41
Dosisleistungsmeßgeräte	22
Taschenwarngeräte	-
Neutronenmonitoren	-
sonstige Geräte	28
Summe	465

Tab. 6/18: Reparatur- und Wartungsarbeiten an Strahlenschutzmeßgeräten, Art der Geräte

Folie (gemäß Inventur)	658
Zähl draht	39
Elektronik	212
Kabel	9
mechanische Reparatur	62
Batterie	23
Summe	1 003

Tab. 6/19: Reparatur- und Wartungsarbeiten an Strahlenschutzmeßgeräten, Art der Reparatur

Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl wurden im Kernforschungszentrum Karlsruhe alle verfügbaren Kontaminationsmeßgeräte intensiv zur Umgebungsüberwachung eingesetzt. Dabei war es unvermeidlich, daß die empfindlichen Fensterfolien oft beschädigt wurden. Es war daher erforderlich, die Geräte schnell und ohne Ausstellung von Reparaturscheinen zu reparieren, zum Teil auch von Mitarbeitern der Arbeitsplatzüberwachung selbst. Bedingt durch die erhöhte Luftaktivität mußten damals innerhalb kürzester Zeit von der Elektronikwerkstatt an rund 200 HFK-Monitoren die Alarmschwellen höher eingestellt und später wieder auf die üblichen höchstempfindlichen Werte zurückgestellt werden.

Im Berichtszeitraum wurden 21 neu beschaffte HFK-Monitoren und 27 tragbare Kontaminationsmonitoren einer Eingangsprüfung unterzogen; 15 Kontaminationsmonitoren einer Fremdfirma wurden auf Funktion und Zählwirksamkeit überprüft.

Zur kontinuierlichen Messung und Registrierung von Strahlenpegel und Luftaktivität werden von der Hauptabteilung Sicherheit z.Z. 237 Meßstellen betreut, die in 37 Gebäuden des Kernforschungszentrums installiert sind, weiterhin 43 Meßstellen zur Umgebungsüberwachung. Zur Instandhaltung dieser Meßstellen waren im Berichtsjahr 491 Reparatursätze erforderlich.

### 6.7.3 Routinekalibrierung

B. Burgkhardt, A. Schmitt

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 PTB an Strahlenschutzdosimeter für die Zulassung zur Eichung und den PTB-Prüfregeln für Strahlenschutzdosimeter.

Innerhalb der Dosimetrie stehen vor allem folgende Aufgaben im Vordergrund:

- Übertragung der Meßgröße vom Primärstandard der PTB und Gewährleistung der Meßgenauigkeit an allen Bestrahlungsanlagen durch den Einsatz von Normaldosimetern sowie durch Teilnahme an internationalen Kontroll- und Vergleichsbestrahlungen,
- Kalibrierung von Dosisleistungsmeßgeräten, Dosimetern, Dosiswarngeräten innerhalb der Routinebetreuung, nach einer Reparatur sowie bei neu angeschafften Geräten,
- Bestrahlung von Dosimeterchargen zur Kalibrierung von TL- und PL-Auswertegeräten.

Der Umfang der routinemäßigen Kalibrierungen von tragbaren Dosisleistungsmeßgeräten ist in Tab. 6/20 wiedergegeben.

Für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und für die Kontrolle der Auswertegeräte wurden an den Eichständen der Eichhalle 639 Gamma- und 67 Neutronenbestrahlungen durchgeführt. Am Gamma-Hochdosis Eichstand werden die trommelförmige Quellenhalterung und der Blendenschieber von einem Schaltpult aus fernbedient. Die zugehörige Mechanik, welche relativ große Massen beschleunigen und abbremsen muß, wird durch den täglichen Routinebetrieb sehr beansprucht und mußte im Berichtsjahr gründlich überholt werden. Hierbei machten der Aus- und Wiedereinbau der Cäsiumquellen umfangreiche und zeitraubende Strahlenschutzvorkehrungen erforderlich. Die mechanische Werkstatt fertigte kurzzeitig Ersatzteile und Vorrichtungen an, und dank der Hilfe und Erfahrung einiger Mitarbeiter konnte die Überholung von der eigenen Abteilung durchgeführt werden. Alle Cs-137-Bestrahlungsanlagen der Eichhalle wurden regelmäßig durch Vergleich mit einem Sekundärstandard im gesamten interessierenden Dosisleistungsbereich überprüft.

Gerätetyp	Routineüberprüfung und Kalibrierung
Jordan-Kammer	1
Graetz X-50	33
Graetz X-500	8
Graetz X-1000	1
Automess 6150	14
Automess 6112	32
Automess 3134	7
Taschenwarngerät	16
Neutronenmeßgerät	21
sonstige	27
Summe	160

Tab. 6/20: Wartungsarbeiten an tragbaren Dosisleistungsmeßgeräten und Taschenwarngeräten

Im Jahre 1986 wurde im Anbau der Eichhalle eine Röntgenanlage für Kalibrierzwecke installiert.

#### 6.7.4 Amtliche Eichabfertigungsstelle

A. Schmitt

Aufgrund der 2. Verordnung über die Eichpflicht von Strahlenschutzmeßgeräten ist es Aufgabe des Landes Baden-Württemberg, Eichungen von Personen- und Ortsdosimetern vorzunehmen. Entsprechend einem Vertrag zwischen dem Land Baden-Württemberg und der KfK werden hierfür die im Kernforschungszentrum Karlsruhe 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 wie auch in der Unterstützung bei der Durchführung der Eichungen. Im Jahre 1986 wurden für das KfK 1048 Stabdosisimeter und 82 Geräte geeicht.

## 6.8 Arbeiten zur Strahlenschutzmeßtechnik

### 6.8.1 Trennung von Alpha- und Betastrahlung nach dem Pulse-Shape-Verfahren in Proportionalzählrohren

B. Reinhardt

Die Entwicklungsarbeiten am tragbaren Kontaminationsmonitor zur gleichzeitigen und getrennten Messung von Alpha- und Betateilchen sind abgeschlossen. Nachdem zwei Geräte zur Erprobung im routinemäßigen Einsatz waren, erfolgte die Vergabe einer "Nullserie" von 20 Stück an einen Lizenznehmer. Die Auslieferung wird 1987 erfolgen.

Mit einem speziellen Proportionalzähler, bei dem die einzelnen Zähldrähte in separaten Kammern liegen, ist es gelungen, das Pulse-Shape-Verfahren auch bei großflächigen Detektoren anzuwenden. Schwierigkeiten bereitete die durch die geometrische Abmessung bedingte große elektrische Kapazität des Detektors. Die Meßanordnung hat für Alphastrahler einen Wirkungsgrad von 16 % und für Betastrahler von 10 %.

Für das Abwasserlabor steht ein nach dem neuen Prinzip arbeitender Meßplatz zur Verfügung. Versuche mit einem fensterlosen Großflächenproportionalzähler haben gezeigt, daß der bei der Beschickung des Detektors miteingedrungene Sauerstoff das Meßergebnis ungünstig beeinflusst. Es sind mindestens 30 Minuten Spülzeit erforderlich, um wieder reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten.

### 6.8.2 Erweiterung der elektrochemischen Ätzanlage für Kernspurdetektoren

B. Reinhardt

Begrenzte räumliche Verhältnisse sowie die routinemäßige Ätzung und Auswertung größerer Stückzahlen von Kernspurdetektoren sowie umfangreiche Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der chemischen und elektrochemischen Ätzung von Kernspurdetektoren zum Nachweis von Spaltfragmenten, Alphateilchen und Neutronen machten es unumgänglich, für diese Arbeiten ein neues Labor einzurichten. Gleichzeitig erfolgte eine gründliche Überarbeitung der Ätzzellen und eine Umkonstruktion der Ätzrahmen.

Der bisher notwendige regelmäßige Austausch der Zellen- und Rahmenelektroden aufgrund starker Oxidationserscheinungen ist nicht mehr notwendig. Das neue Elektrodenmaterial zeigt selbst nach monatelangem Einsatz keinerlei Oberflächenveränderungen. Eine spezielle Elektrodenhalterung und -isolierung erhöht die Betriebssicherheit des Systems. Ferner gibt eine optische Anzeige während des Ätzevorganges Auskunft über die Funktionsfähigkeit der einzelnen Zellen.

Zwecks Dokumentation werden an jedem Laborplatz alle für den Ätzevorgang relevanten Parameter protokolliert. Ende 1986 erfolgte der Test des innerhalb eines TT-Vorhabens vom Lizenznehmer gefertigten Niederfrequenz-Hochspannungsgenerators. Die Meßergebnisse waren befriedigend. Nach gewissen Modifikationen kann der Generator kommerziell vertrieben werden.

6.8.3 Anmerkungen zur Messung der Luftaktivitätskonzentration von I-131 und I-132

H. Doerfel

Bei genauerer Betrachtung der in den ersten Maitagen mit der Aerosolmeßstelle in der Meßhütte Nord-Ost des Kernforschungszentrums ermittelten Luftaktivitätskonzentrationen fällt folgendes auf:

- Das Verhältnis der Aktivitäten von I-131 und Cs-137 ist bei den Nachtmessungen mit Beaufschlagszeiten zwischen 16 h und 17 h stets kleiner als bei den Tagmessungen mit Beaufschlagszeiten zwischen 5,5 h und 7,5 h.
- Das radiologische Gleichgewicht von I-132 und Te-132 ist bei allen Messungen unmittelbar nach Beaufschlagungsende signifikant gestört.

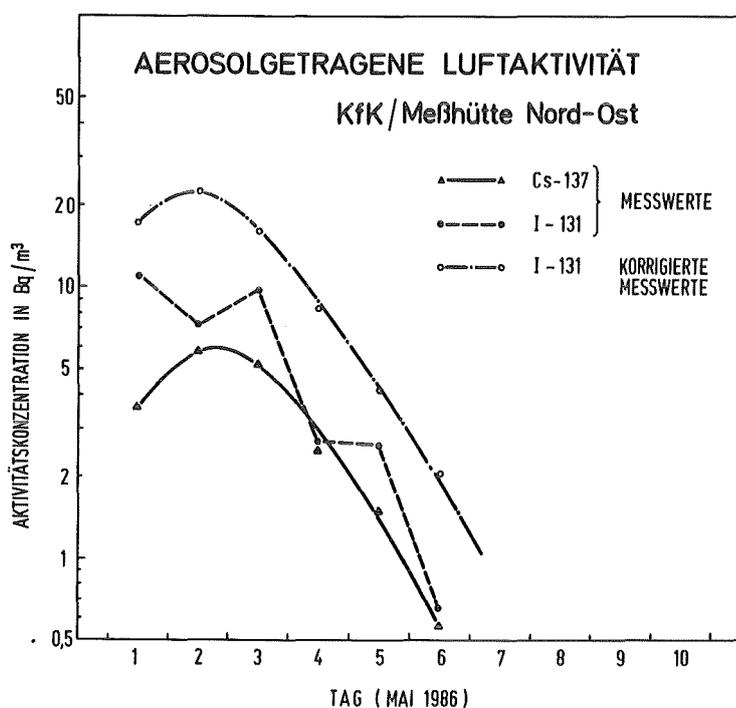


Abb.6/29: Zeitlicher Verlauf der mit der Aerosolmeßstelle in der Meßhütte Nord-Ost des Kernforschungszentrums ermittelten Luftaktivitätskonzentration von I-131 und Cs-137 vor und nach Korrektur der Meßwerte von I-131

Zur Verdeutlichung des erstgenannten Effekts zeigt die Abb. 6/29 die in der Zeit zwischen dem 01.05.86 und dem 06.05.86 mit der Aerosolmeßstelle in der Hütte Nord-Ost des Kernforschungszentrums ermittelten Meßwerte für die aerosolgetragene Luftaktivitätskonzentration von I-131 und Cs-137. Die Cs-137-Aktivität zeigt einen nahezu stetigen Verlauf mit einem Maximum am 02.05.86 (ähnliche Kurven erhält man auch für andere aerosolgetragene Nuklide wie z.B. Ru-103). Die I-131-Aktivität hat dagegen einen außerordentlich unstetigen Verlauf, der durch keine analytische Funktion approximiert werden kann und daher durch die gestrichelten Geradensegmente dargestellt wird. Zur Ergänzung sind in Tab. 6/21 die Zahlenwerte für das Verhältnis der Aktivitäten von I-131 und Cs-137 aufgelistet. Die vierte Spalte dieser Tabelle zeigt das gemessene Aktivitätsverhältnis und die letzte Spalte das

zerfallskorrigierte Aktivitätsverhältnis, wobei als Bezugsdatum willkürlich der 02.05.86 gewählt wurde. Wie man dieser Tabelle entnehmen kann, ist auch das zerfallskorrigierte Aktivitätsverhältnis bei langer Beaufschlagungsdauer stets deutlich kleiner als das unmittelbar zuvor bzw. unmittelbar danach bei kurzer Beaufschlagungsdauer ermittelte Aktivitätsverhältnis. Dieser Sachverhalt kann mit einem eventuell vorhandenen Tag/Nachtrhythmus der I-131-Aktivität nicht erklärt werden, da das Gleichgewicht zwischen der gasförmigen und der aerosolgetragenen Aktivität durch die nächtliche Temperaturabsenkung eher in Richtung Aerosol verschoben wird.

Beaufschlagung		Aktivitätsverhältnis I-131/Cs-137		
		spektroskopische Messung		Umrechnung <sup>1)</sup>
Datum	Dauer (h)	Datum	Verh.	Verh.
01.0.5.86	6,0	01.05.86	3,08	2,82
01./02.05.86	16,3	02.05.86	1,49	1,49
02.05.86	5,4	02.05.86	2,90	2,90
02./03.05.86	16,8	03.05.86	2,16	2,36
03.05.86	7,7	03.05.86	3,17	3,46
03./04.05.86	16,4	04.05.86	1,78	2,12
04.05.86	7,5	04.05.86	4,78	5,68
04./05.05.86	16,7	05.05.86	1,97	2,55
05.05.86	7,0	05.05.86	2,70	3,50
05./06.05.86	16,9	06.05.86	1,61	2,28
06.05.86	7,4	06.05.86	3,38	4,78
06./07.05.86	16,8	07.05.86	1,42	2,18

<sup>1)</sup> Korrektur des radioaktiven Zerfalls von I-131 (Bezugsdatum: 02.05.86)

Tab. 6/21: Verhältnis der Aktivitäten von I-131 und Cs-137 auf den Aerosolfiltern (Hütte Nord-Ost)

Zur Verdeutlichung des zweitgenannten Effekts zeigen die Tab. 6/22 und 6/23 die auf den Aerosolfiltern der Hütte Nord-Ost in der Tagmessung vom 01.05.86 bzw. in der Nachtmessung vom 01./02.05.86 ermittelten Aktivitäten von Te-132 und I-132. Bei der Bestimmung der Aktivität von I-132 werden alle im Spektrum nachweisbaren Gamma-Linien herangezogen. Dabei zeigt sich, daß die aus den einzelnen Linien ermittelten I-132-Aktivitäten jeweils innerhalb einer Schwankungsbreite von wenigen Prozent miteinander übereinstimmen. Bei der Bestimmung der Aktivität von Te-132 wird nur die Hauptlinie bei 228 keV herangezogen, da die übrigen Linien nur bei langer Beaufschlagungszeit nachweisbar sind (Tab. 6/23). Bei radiologischem Gleichgewicht liegt das Aktivitätsverhältnis von I-132 zu Te-132 bei 1,03. Die auf den Aerosolfiltern gefundenen Aktivitätsverhältnisse liegen jedoch in beiden Fällen - wie auch in allen anderen untersuchten Fällen - signifikant unter diesem Wert. Der Effekt ist allerdings nur dann nachweisbar, wenn die Aerosolfilter unmittelbar nach dem Ende der Beaufschlagung ausgewertet werden.

Isotop	Energie (keV)	Emissions- wahrsch. (%)	Wirkungs- grad (%)	Impuls- rate (Imp/s)	Aktivität (kBq)
Te-132	228	88,2	7,8	90,3	1,31
I-132	523	16,1	3,75	4,64	0,77
I-132	630	13,7	3,25	3,54	0,80
I-132	668	98,7	3,10	25,4	0,83
I-132	773	76,2	2,72	16,8	0,81
I-132	955	18,1	2,15	3,3	0,85
Mittlere Aktivität von I-132:					0,81 kBq
Mittleres Aktivitätsverhältnis von I-132/Te-132:					0,62
- zurückgerechnet auf Beaufschlagungsende:					0,54

Tab. 6/22: Spektroskopische Bestimmung der Aktivitäten von I-132 und Te-132 auf dem Aerosolfilter der Meßstelle in der Hütte Nord-Ost  
 Beaufschlagungsperiode: 01.05.86 (11.00 Uhr - 17.00 Uhr)  
 Gammaskopie am 01.05.86 (17.34 Uhr - 17.44 Uhr)

Isotop	Energie (keV)	Emissions- wahrsch. (%)	Wirkungs- grad (%)	Impuls- rate (Imp/s)	Aktivität (kBq)
Te-132	112	1,1	10,5	8,0	6,93
Te-132	117	1,2	10,7	9,1	7,09
Te-132	228	88,2	7,8	420	6,11
I-132	523	16,1	3,75	23,3	3,86
I-132	630	13,7	3,25	17,0	3,82
I-132	668	98,7	3,10	120	3,92
I-132	773	76,2	2,72	81,1	3,91
I-132	955	18,1	2,15	15,1	3,88
Mittlere Aktivität von I-132:					3,88 kBq
Mittleres Aktivitätsverhältnis von I-132/Te-132 <sup>1)</sup> :					0,64
- zurückgerechnet auf Beaufschlagungsende:					0,54

<sup>1)</sup> Bei Zugrundelegung des Hauptpeaks von Te-132 bei 228 keV

Tab. 6/23: Spektroskopische Bestimmung der Aktivitäten von I-132 und Te-132 auf dem Aerosolfilter der Meßstelle in der Hütte Nord-Ost  
 Beaufschlagungsperiode: 01.05.86 17.50 Uhr - 02.05.86 10.10 Uhr  
 Gammaskopie am 02.05.86 (10.49 Uhr - 10.59 Uhr)

Für beide Effekte bietet sich die folgende Erklärung an. Das auf dem Aerosolfilter abgeschiedene Iod reichert sich während der Beaufschlagung sehr bald so stark an, daß der durch die Abdampfung bedingte Partialdruck von Iod im Luftstrom größer wird als der Partialdruck des mit dem Luftstrom herangeführten gasförmigen Iod. Das hat zur Folge, daß ein Teil des abgedampften Iod mit dem Luftstrom wieder abgeführt wird.

Zur quantitativen Beschreibung der Effekte wird ein einfaches kinetisches Modell vorgeschlagen, bei dem angenommen wird, daß bei gegebenem Luftdurchsatz die mit dem Luftstrom abgeführte Iod-Aktivität proportional zur vorhandenen Iod-Aktivität ist. Für I-131 ergibt sich nach diesem Modell die folgende Beziehung (Index I bedeutet I-131):

$$A_I(t) = C_I \cdot D \cdot (1-g) \cdot [1 - \exp(-f \cdot t)] / f \quad (1)$$

$$f = \lambda_I + \beta$$

A = Aktivität auf dem Aerosolfilter

C = Aktivitätskonzentration in der Luft

$\lambda$  = Zerfallskonstante

g = Anteil der gasförmigen Iod-Aktivität zu der gesamten Iod-Aktivität in der Luft

D = Luftdurchsatzrate

$\beta$  = Zeitkonstante für den Übergang des abgeschiedenen Iod in die Gasphase

t = Beaufschlagungszeit

Hierbei wird angenommen, daß die aerosolgetragene I-131-Aktivität zunächst quantitativ abgeschieden wird. Die Gl. (1) gestattet in Verbindung mit der Abscheidefunktion von Cs-137 (Spezialfall von Gl. (1) mit  $\beta = 0$ ) die Bestimmung des Parameters  $\beta$  aus den in Tab. 6/20 angegebenen zerfallskorrigierten Aktivitätsverhältnissen. Dabei wird unterstellt, daß das zerfallskorrigierte I-131/Cs-137-Aktivitätsverhältnis für jeweils drei aufeinanderfolgende Messungen linear interpoliert werden kann. Mit dem auf diese Weise erhaltenen Wert von  $\beta = 0,175/h$  ist es möglich, den durch den Luftstrom abgeführten Aktivitätsanteil von I-131 zu bestimmen und die Meßwerte entsprechend zu korrigieren. Die Korrektur führt zu einer sehr guten Glättung des zeitlichen Verlaufs der aerosolgetragenen I-131-Aktivität (Abb. 6/31). Aufgrund dieser Ergebnisse wird bei einer Beaufschlagungszeit von 6 h etwa 30 % und bei einer Beaufschlagungszeit von 17 h etwa 70 % der ursprünglich in Aerosolform abgeschiedenen I-131-Aktivität in der Gasphase wieder abgeführt.

Für die Zeitabhängigkeit der Aktivität von I-132 erhält man nach dem gleichen Modell die Beziehung (Index I bedeutet I-132, Index Te bedeutet Te-132):

$$A_I(t) = C_{Te} \cdot D \cdot \left\{ [(1-g) \cdot \lambda_{Te} / (\lambda_I - \lambda_{Te})] \cdot [1 - \exp(-f_1 \cdot t)] / f_1 - \right.$$

$$\left. [\exp(-\lambda_{Te} \cdot t) - \exp(-f_2 \cdot t)] / f_2 \right\} \cdot \lambda_I / \lambda_{Te}$$

$$f_1 = \lambda_I + \beta$$

$$f_2 = \lambda_I - \lambda_{Te} + \beta \quad (2)$$

Die Abb. 6/30 zeigt eine auf der Basis dieser Gleichung für verschiedene Werte von  $g$  berechnete Kurvenschar für die Zeitabhängigkeit des Aktivitätsverhältnisses von I-132 zu Te-132 im Vergleich zu einigen Meßwerten aus den ersten Maitagen. Bei Zugrundelegung dieser Werte ergibt sich aus dem Modell, daß in den ersten Maitagen etwa 80 % des I-132 in der Gasphase waren. Nach den im LAF II gesammelten Erfahrungen ist dies durchaus realistisch.

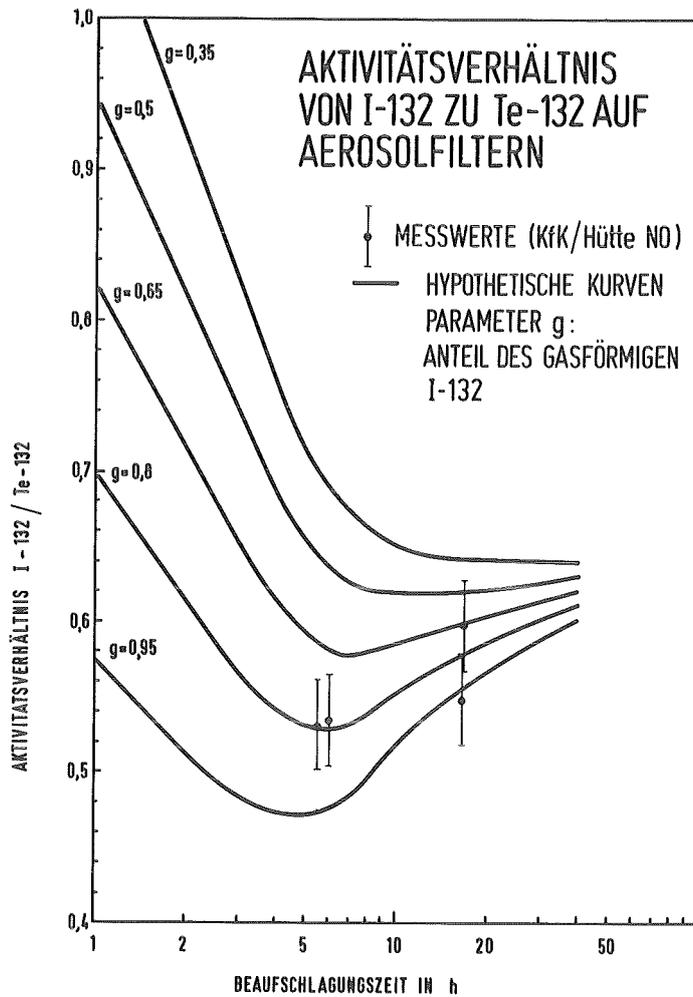


Abb.6/30: Berechnete und gemessene Zeitabhängigkeit des Aktivitätsverhältnisses von I-132 zu Te-132  
Parameter  $g$ : Anteil der gasförmigen I-132-Aktivität an der gesamten I-132-Aktivität

Es ist zu erwarten, daß auch ein entsprechend hoher Anteil der Aktivität von I-131 in der Gasphase war. Aufgrund der Meßergebnisse (Tab. 6/24) ist dies jedoch erst nach dem 04.05.86 der Fall. Es ist demnach zu vermuten, daß auch die gasförmige Iod-Aktivität durch das Meßverfahren unterbewertet wird. Möglicherweise liegt ein signifikanter Anteil der gasförmigen Iod-Aktivität in Form von Verbindungen wie z.B.  $\text{CH}_3\text{I}$  vor, die durch die Aktivkohle nicht quantitativ zurückgehalten werden.

Beaufschlagung		Luftaktivitätskonzentration in Bq/m <sup>3</sup>	
Datum	Dauer in h	Aerosolfilter	Kohlepatrone
01.05.86	6,0	11	9
01./02.05.86	16,3	7,3	15,7
02.05.86	5,4	9,9	19,1
02/03.86	16,8	2,7	7,3
03.05.86	7,7	2,6	6,7
03./04.05.86	16,4	0,66	4,7
04.05.86	7,5	0,33	1,1
04./05.05.86	16,7	0,32	4,1
05.05.86	7,0	0,35	2,3
05./06.05.86	16,9	0,15	2,6
06.05.86	7,4	0,37	2,4
06./07.05.86	16,8	0,11	1,3

Tab.6/24: Luftaktivitätskonzentration von I-131 nach Messung mit den Aerosol- und Gasmeßstellen (Hütte Nord-Ost)

## 7 Biophysik

### 7.1 Einführung

H. Dertinger

Im Jahre 1986 erfuhr die F + E-Tätigkeit der Abteilung HS/B eine thematische Erweiterung. Nachdem es im Vorjahr Frau Dr. Gudrun Knedlitschek erstmals gelungen war, Sphäroide aus frisch isolierten Leberzellen adulter Ratten herzustellen, wurde unter dem Eindruck der aus Vorversuchen erkennbaren außergewöhnlichen Eigenschaften dieses Systems (siehe 7.3) ein detailliertes Forschungsprogramm initiiert. Ziel des Vorhabens ist die Erforschung der biochemischen Langzeitstabilität, insbesondere in bezug auf den Fremdstoff-Metabolismus der Leberzell-Sphäroide. Dieses System soll dazu dienen, Langzeitwirkung und Metabolisierung von Arznei- oder Giftstoffen, sowie von krebserzeugenden Stoffen in der Leber zu untersuchen, was mit herkömmlichen Leberzellkulturen bisher nicht möglich ist. Es bestehen bereits Kontakte zu Industriepartnern, die an diesem *in vitro* System im Hinblick auf eine Reduktion von Tierversuchen stark interessiert sind.

Im folgenden wird außerdem über Ergebnisse berichtet, die in Zusammenhang mit dem Einsatz von Sphäroiden auf dem Gebiet der experimentellen Strahlentherapie bösartiger Tumoren beim Menschen erzielt wurden. Dabei handelt es sich um einen Beitrag zur Problematik der klinisch sehr strahlenresistenten Klasse der malignen Glioblastome. Es konnte erstmalig gezeigt werden, daß bei diesen Tumoren die interzelluläre Kommunikation und die dadurch bedingte "Kontakt-Resistenz" einen ausschlaggebenden Einfluß auf die Strahlenkurabilität haben (7.2).

Die Beschäftigung mit dem Sphäroid-System und die hierbei erzielten, wohl auf Differenzierungsvorgänge zurückzuführenden Resultate (z. B. Kontakt-Resistenz oder die biochemische Stabilität der Hepatozyten-Sphäroide) machen die Erforschung der molekularen Mechanismen kommunikations-induzierter Zelldifferenzierung dringend erforderlich. Daher wurde bereits 1986 mit ersten Experimenten zu dieser Fragestellung begonnen. In diesem Zusammenhang wurde auch die Meßmethodik für die interzelluläre Kommunikation (Mikro-Elektrode-technik) verbessert und auf ON-LINE Betrieb umgestellt (7.3).

### 7.2 Sphäroide aus Glioblastomzellen als Modell für die experimentelle Tumor-Strahlentherapie.

U. Anderer, G. Knedlitschek, K.F. Weibezahn, H. Dertinger

#### 7.2.1 Einleitung

Die Strahlentherapie bösartiger menschlicher Tumoren hat in den zurückliegenden Jahren und Jahrzehnten immer wieder wichtige Impulse aus der strahlenbiologischen Forschung erhalten. Ein gutes Beispiel hierfür ist das Prinzip der elektron-affinen Sensibilisierung hypoxischer und damit strahlenresistenter Tumorzellen. Tatsächlich besteht das Hauptproblem der Strahlentherapie darin, auch strahlenresistente Tumoren erfolgreich, d. h. insbesondere unter weitestgehender Schonung des gesunden Gewebes zu bekämpfen. Der Versuch, dieses Problem allein durch räumlich gezieltere Strahlenapplikation zu bewältigen, stößt sehr schnell an Grenzen, die nur durch die Erforschung der biologischen Prozesse, die Tumorzellen strahlenresistent machen, weiter hinausgeschoben werden können.

Entscheidend für Planung und Durchführung einer wirksamen Strahlentherapie ist darüber hinaus das Erkennen bzw. die Vorhersage der individuellen Strahlenempfindlichkeit eines diagnostizierten

Tumors. Derzeit sind die Möglichkeiten sowohl der Identifizierung, als auch der Therapie strahlenresistenter Tumoren noch sehr unbefriedigend. Vor diesem Hintergrund hat HS/B in den letzten Jahren Vorstellungen entwickelt, die einem neuen Typus von Strahlenresistenz, der sog. "Kontakt-Resistenz", eine entscheidende Rolle innerhalb der Gruppe der strahlenresistenten Tumoren zuweist. Charakteristisch für diese Art von Strahlenresistenz, die erstmalig bei strahlenbiologischen Untersuchungen an multizellulären Sphäroiden entdeckt wurde, ist ihre Korrelation mit der interzellulären Kommunikation über Gap-Junctions. Bei kommunikationslosen Zellen wird sie nicht beobachtet (vgl. HS Jahresbericht 1985). Bisher wurde die Kontakt-Resistenz allerdings noch nicht gezielt an einer besonders strahlenresistenten Tumorklasse experimentell untersucht.

Die hier dargestellten Untersuchungen sollen klären, ob die Kontakt-Resistenz als entscheidender Faktor für hohe klinische Strahlenresistenz solider Tumoren in Frage kommt. Da die jeweils untersuchten Tumorzellen starke Unterschiede in der interzellulären Kommunikation aufwiesen, sollte in diesem Zusammenhang außerdem der Frage nachgegangen werden, ob das Ausmaß der Kontakt-Resistenz zur Erklärung der häufig beobachteten starken individuellen Schwankung des "Tumor-Ansprechens" (auf eine Strahlentherapie) herangezogen werden kann.

#### 7.2.2 Material und Methoden

Bisher ist die Kontakt-Resistenz nur an Sphäroiden und an soliden Tumoren *in vivo* beobachtet worden, bei Systemen also, in denen die Zellen dreidimensional, d. h. in ihrer natürlichen Organisationsform angeordnet sind. Es lag deshalb nahe, die Untersuchungen an multizellulären Sphäroiden durchzuführen. Bezüglich der Tumorklasse fiel die Wahl auf die malignen Glioblastome. Diese gehören, zusammen mit den Melanomen, zu den strahlenresistentesten Tumoren überhaupt und gelten in den meisten Fällen als inkurabel. Allerdings ist gerade in dieser Gruppe die Strahlenempfindlichkeit starken individuellen Schwankungen unterworfen, d. h. man findet gelegentlich auch Tumoren mit befriedigendem Ansprechverhalten.

Für die Untersuchungen wurden uns von Herrn Prof. Wechsler (Neuropathologisches Institut der Universität Düsseldorf) zwei Rattengliom-Linien zur Verfügung gestellt: F98 und RG2. Beide Zellarten stammen aus Gliomen, die in CDF-Ratten durch ENU (N-Äthyl-N-Nitroso-Harnstoff) induziert wurden. Die ursprüngliche Klassifizierung weist F98 als undifferenziertes und anaplastisches, RG2 hingegen als differenziertes Glioblastom aus. Beide Zelllinien führen nach Injektion in Rattenhirn zur Ausbildung von Hirntumoren.

Von beiden Zellen gelang die Herstellung von Sphäroiden. Während F98 sehr stabile Aggregate bildete, die nach der Aggregationsphase in Spinnerkultur überführt werden konnten, waren von RG2 nur verhältnismäßig labile Sphäroide zu erhalten. Sie konnten nur in Kulturflaschen unter vorsichtiger gyroskopischer Bewegung kultiviert werden. Die Sphäroide wurden analysiert, nachdem sie einen Durchmesser von ca. 0,2 mm erreicht hatten (Alter 12 - 14 Tage).

Die Untersuchungen umfaßten: Histologie, Flußzytometrie, Mikroelektrode-technik und Koloniebildungstest nach Bestrahlung.

Histologie: Für die lichtmikroskopische Begutachtung wurden gefärbte Schnittpräparate hergestellt. Hierzu wurden, nach gründlicher Entfernung des Nährmediums (durchweg "Minimum-Essential"-Medium mit Earle's Salzen, supplementiert mit 10% fötalem Kälberserum und 1% Antibiotika), die Sphäroide 1 Stunde lang in 2,5%igem Glutaraldehyd (frisch über Aktivkohle filtriert) fixiert, 3 mal in Hank's Puffer gewaschen und in Äthanol aufgenommen. Die Einbettung in Paraplast und die Anfertigung von Dünnschnitten erfolgte im Labor von Herrn Prof. Komitowski (Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg).

**Flußzytometrie:** Die Flußzytometrie bietet die Möglichkeit zur quantitativen Bestimmung von Zellinhaltsstoffen, insbesondere der DNA. Hierzu wird der jeweilige Stoff in der Zelle mit einem geeigneten Fluorochrom angefärbt. In einem Durchflußsystem kann dann an Hand der unterschiedlichen Fluoreszenzintensität die Verteilung des zu untersuchenden Stoffes innerhalb der Zellpopulation bestimmt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der DNA-Gehalt pro Zelle gemessen und der Anteil der Zellen in den einzelnen Phasen des Zellzyklus ermittelt.

Der Zellverband der Sphäroide wurde durch Trypsin-Behandlung aufgelöst und die Einzelzell-Suspension (1-2 Millionen Zellen) nach Entfernen aller Medium- und Serumreste in Äthanol fixiert. Vor der eigentlichen Messung wurden Fixierung und anschließende Färbung (mit Sulforhodamin 101 und DAPI) im Fluoreszenzmikroskop überprüft. Die Kerne erscheinen hierbei hellblau (DAPI), das Zytoplasma jedoch rot gefärbt (Sulforhodamin). Für die quantitative DNA-Bestimmung wurden menschliche Leukozyten mit einem DNA-Gehalt von 6pg eingesetzt. Da HS/B noch kein Flußzytometer besitzt, erfolgten die Messungen am Deutschen Krebsforschungszentrum.

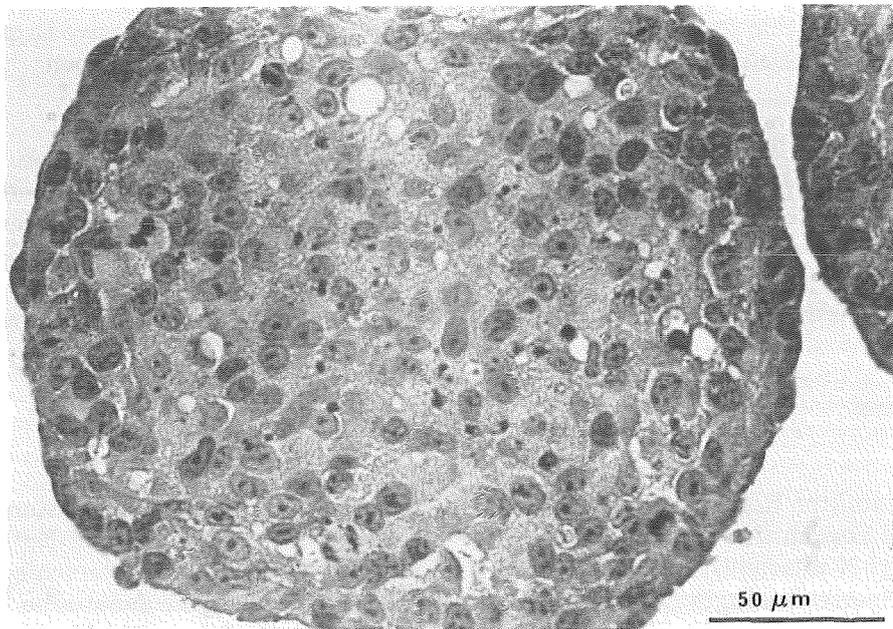
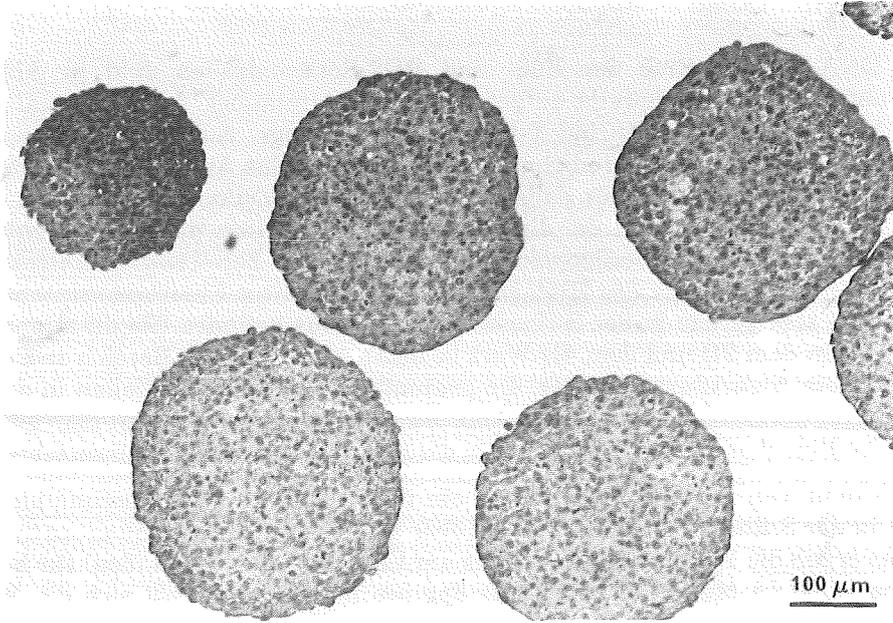
**Mikroelektrodeentechnik:** Wenn Zellen die Fähigkeit zur interzellulären Kommunikation über Gap-Junctions besitzen, führt dies zu einer elektrischen Kopplung zwischen aneinander grenzenden Zellen, da die Gap-Junction-Poren eine freie Diffusion von Ionen zulassen. Die Mikroelektrodeentechnik ist eine besonders empfindliche Methode zur Messung der elektrischen Zellkopplung und damit der interzellulären Kommunikation. Sie beruht auf der Übertragung eines Depolarisationssignales, hervorgerufen durch die Injektion eines schwachen Stromsignales, in die Nachbarzelle. Sowohl Injektion als auch Detektion der elektrischen Signale geschieht mit feinsten KCl-gefüllten Glas-Kapillaren (Details s. 7.3).

**Überlebenstest nach Bestrahlung:** Die Bestrahlung der Sphäroide erfolgte auf Petrischalen bei einer Temperatur von 37 °C mit Co- $\gamma$ -Strahlen (Dosisleistung: 0,85 Gy/min). Zur Bestimmung der Überlebensfähigkeit nach Bestrahlung diente der Kolonietest. Dabei werden nur solche Zellen als "überlebend" qualifiziert, die noch unbeschränkt teilungsfähig sind und innerhalb von 10 - 12 Tagen nach Bestrahlung Kolonien von mehr als 50 Zellen auf einer Petrischale bilden können.

Für den Koloniebildungstest wurden die Sphäroide nach der Bestrahlung trypsiniert. Von der erhaltenen Einzelzellsuspension wurden so viele Zellen auf Petrischalen überimpft, daß zwischen 50 und 150 Kolonien erwartet werden konnten (die hierzu erforderliche ungefähre Kenntnis der Dosis-Effekt-Kurve resultierte aus Vorversuchen). Nach 11 - 12 Tagen wurden die Zellen auf den Petrischalen durch Behandlung mit Methanol fixiert und mit Kristallviolett gefärbt. Der Bruchteil der überlebenden Zellen errechnet sich für jede Dosis aus der Anzahl gezählter Kolonien, dividiert durch die überimpfte Zellzahl. Die Überlebensrate, die auf die Ordinate der Dosis-Effekt-Kurve aufgetragen wird, erhält man durch Division dieser Überlebensfraktionen durch den Wert bei der Dosis Null, der sog. "Plating Efficiency".

### 7.2.3 Ergebnisse

**Histologie:** Abb. 7/1 zeigt Schnitte von F98-Sphäroiden bei lichtmikroskopischer Betrachtung. Es handelt sich um kompakte Aggregate; die Zellen liegen eng beieinander. Im Verhältnis zum Zytoplasma sind die Zellkerne auffallend groß, eine bei Gliomzellen häufig gemachte Beobachtung. Die stärkere Vergrößerung in Abb. 7/1 läßt auch einige Mitose-Stadien erkennen. Wie bereits erwähnt, (7.2.2) bildet RG2 nur relativ labile Aggregate. Schon Versuche zu ihrer Einbettung in Paraplast scheiterten und führten zur Zerstörung des Zellgefüges.



**Abb. 7/1: Histologische Schnitte von F98-Sphäroiden bei verschiedenen Vergrößerungen**

Fluözytometrie: DNA-Histogramme der F98- und RG2-Sphäroidzellen sind in Abb. 7/2 und 7/3 dargestellt. Die auf der Abszisse jeweils aufgetragene Kanalnummer des Vielkanal-Analysators ist proportional zur Fluoreszenzintensität und damit zur DNA-Menge. Auf der Ordinate ist die Zahl der Zellen aufgetragen. Die Verteilungen sind charakterisiert durch das Auftreten von 2 Peaks, wovon der linke jeweils die in der sog. G<sub>1</sub>-Phase des Zellzyklus befindlichen Zellen repräsentiert. Diese G<sub>1</sub>-Zellen besitzen den "normalen" DNA-Gehalt einer diploiden (2D) Zelle. Zellen, die nach Durchlaufen der DNA-Synthesephase ihren DNA-Gehalt verdoppelt haben und in die Zell-Teilung eintreten können (G<sub>2</sub>-Zellen) erscheinen im rechten Peak des Histogrammes bei doppelter Fluoreszenzintensität. Der Anteil derjenigen Zellen, die sich gerade in der S-Phase des Zellzyklus befinden (Replikationsphase), und die DNA-Mengen zwischen dem 2D- und dem 4D-Wert besitzen, zeigt sich im Bereich zwischen den beiden Peaks. Durch geeignete Algorithmen können die prozentualen Anteile der Zellen in den 3 Phasen des Zellzyklus abgeschätzt werden (siehe Inserts in Abb. 7/2 und 7/3). Hierbei erhält man auch den ebenfalls angegebenen "Coefficient of Variation" (CV), d. h. die apparativ bedingte Halbwertsbreite der Peaks.

Die DNA-Histogramme von F98 und RG2 zeigen ein hohes Maß an Übereinstimmung. Lediglich der Anteil der Zellen in der S-Phase ist für RG2 gegenüber F98 erhöht. Bei der quantitativen Bestimmung des DNA-Gehaltes ergab die Eichung der G<sub>1</sub>-Peaks am Leukozytenstandard (6pg) für beide Gliome die übereinstimmende 2D-DNA-Menge von ebenfalls 6pg pro Zelle. Damit läßt sich die Möglichkeit ausschließen, daß die Transformation der Glia - in Glioblastomzellen in den vorliegenden Fällen mit einer Genommutation (Polyploidisierung) einhergeht.

Interzelluläre Kommunikation: Abb. 7/4 zeigt das qualitative Ergebnis der elektrischen Kopplungsmessungen anhand der Reproduktion typischer Oszillogramme. Dargestellt sind die Amplituden der Rechtecksignale in der injizierten Zelle (jeweils oben) und in einer unmittelbaren Nachbarzelle (unten). Die Frequenz des Rechtecksignals beträgt 70 Hz, die Amplitude des injizierten Stromes 10 nA. Nach Abb. 7/4 ist F98 stark gekoppelt, RG2 jedoch nur schwach. Quantitative Ergebnisse in Form von Spannungsverhältnissen Nachbarzelle / injizierte Zelle sind in Tab. 7/1 angegeben.

Strahlenempfindlichkeit: Überlebenskurven für F98- und RG2-Sphäroide sind in Abb. 7/5 dargestellt. Für diese Darstellung wurden die Mittelwerte aus jeweils 5 unabhängigen Experimenten aufgetragen. Die Kurve für F98-Sphäroide verläuft durchweg oberhalb der RG2-Kurve und zeigt einen erheblich flacheren Verlauf. F98 ist somit strahlenresistenter als RG2. Die Kenngrößen der Überlebenskurven, wie die mittleren Abtötungsdosen (nach A. M. Kellerer) und die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Parameter (aus der Anpassung eines linear-quadratischen Dosis-Modells an die Überlebenskurven) sind in Tab. 7/1 angegeben.

#### 7.2.4 Diskussion

Die in 7.2.3 dargestellten Ergebnisse wurden mit Zellen aus zwei transplantablen Rattengliomen erzielt, die identisch sind hinsichtlich der Tierspezies (CDF-Ratte) und der Art der Tumor-Entstehung (Induktion durch N-Ethyl-N-nitroso-Harnstoff). Daher können für die beobachteten Unterschiede zwischen F98 und RG2 weder Spezies-bedingte Eigenschaften noch eine unterschiedliche genetische Disposition verantwortlich gemacht werden. Die "Homogenität" des Versuchsmaterials reicht bis zur exakten Übereinstimmung im DNA-Gehalt, d. h. trotz erheblicher histologischer und physiologischer Unterschiede zwischen beiden Gliomen stimmen sie im Hinblick auf ihren Ploidiegrad überein. Die Resultate spiegeln somit reine zellbiologische und histologische Variationen innerhalb einer Tumorklasse wider.

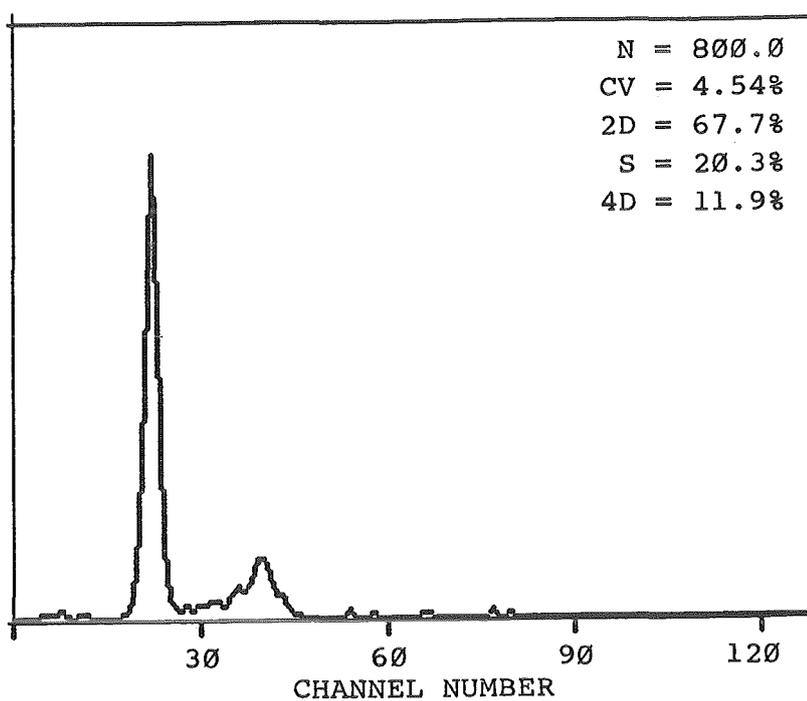
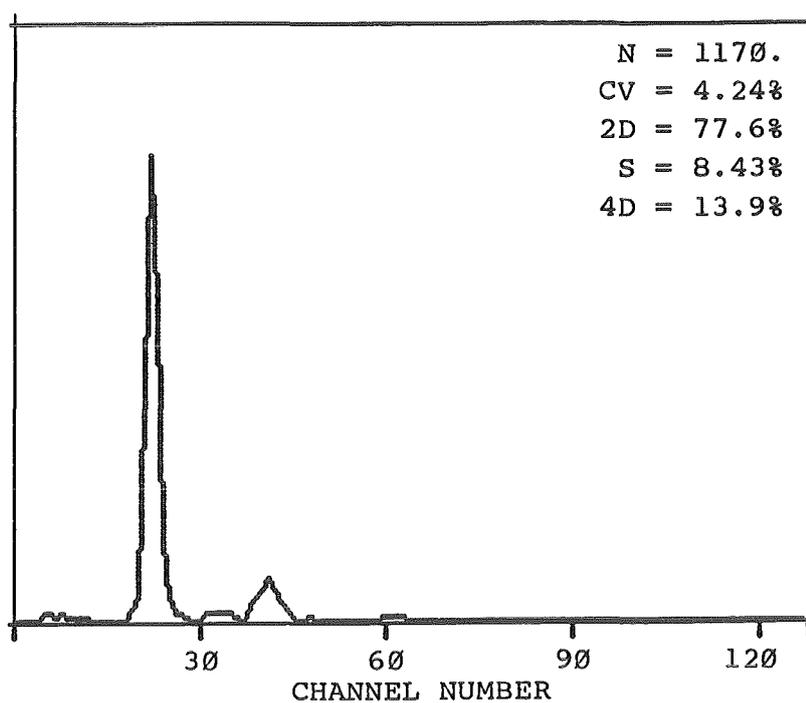


Abb. 7/2 und 7/3: DNA-Verteilungen der Gliom-Sphäroidzellen. Oben: F98; Unten: RG2

Abb. 7/4: Qualitative Bestimmung der Zell-zu-Zell-Kopplung mit Hilfe der Mikroelektro-  
denteknik. Reproduktion  
typischer Original-Oszillo-  
gramme. Die jeweils obe-  
ren Linienformen wurden  
in der Injektorzelle gemes-  
sen, die unteren in einer  
Nachbarzelle.

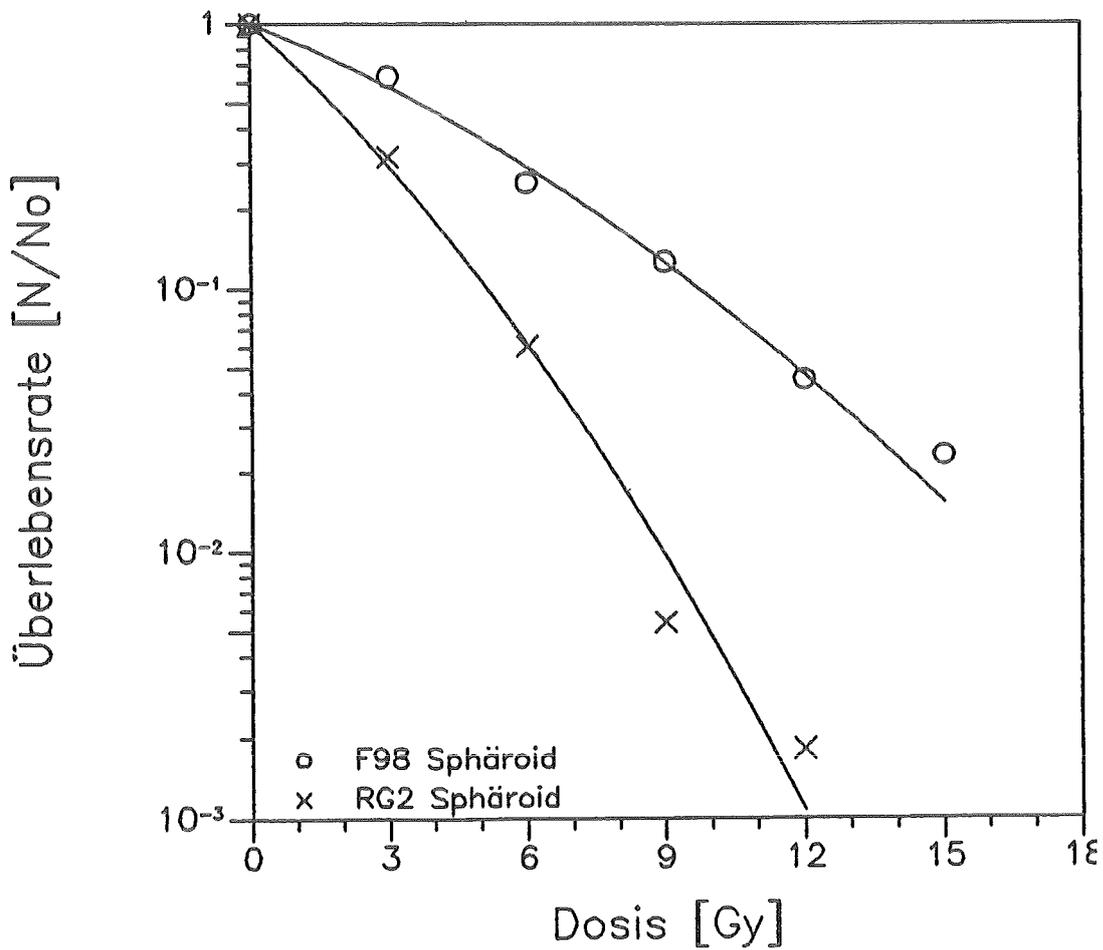
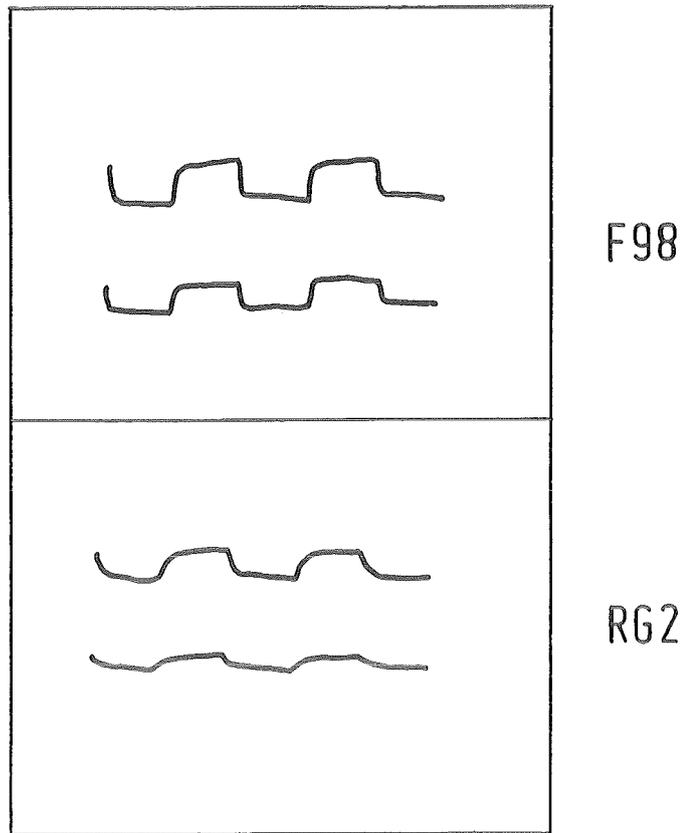


Abb. 7/5: Überlebenskurven für F98- und RG2-Sphäroide nach Gamma-Bestrahlung.

## Interzelluläre Kommunikation und Strahlensensibilität

Auch zur Erklärung der unterschiedlichen Strahlenempfindlichkeit von F98- und RG2-Sphäroiden scheiden daher Unterschiede in DNA-Gehalt und / oder Ploidiegrad aus. Ähnliches gilt für etwaige Unterschiede im Anteil hypoxischer Zellen. Da der Durchmesser der in den vorgestellten Versuchen eingesetzten Sphäroide 0,2 mm nicht wesentlich überschritt, spielt Hypoxie als strahlenbiologischer Resistenzparameter mit Sicherheit keine Rolle. Darüberhinaus sind zusätzlich erstellte Dosis-Effekt-Kurven, bei denen nur Zellen der äußeren (100% oxischen!) Sphäroidschichten eingesetzt wurden, identisch mit den in Abb. 7/5 gezeigten Kurven. Da die höhere Strahlenresistenz der F98-Sphäroide einhergeht mit einer stärkeren interzellulären Kommunikation, wird sie auf der Basis des bisherigen Kenntnisstandes als Kontakt-Resistenz interpretiert. Es sei der Vollständigkeits halber angemerkt, daß dies einer Interpretation der Strahlenempfindlichkeit auf Grund unterschiedlicher DNA-Reparatur nicht widerspricht. Derzeit ist allerdings nicht bekannt, welche Reparaturprozesse bei der Kontakt-Resistenz eine Rolle spielen und wie diese mit der interzellulären Kommunikation zusammenhängen.

## Interzelluläre Kommunikation und Zelldifferenzierung

Aus den bisher über die Zellkommunikation publizierten Arbeiten geht hervor, daß diese über die Gap-Junctions vermittelte Zellfunktion eine grundsätzliche Voraussetzung für die Induktion von Differenzierungsprozessen in Geweben darstellt. Belege für diesen Zusammenhang stammen vor allem aus Untersuchungen der Keimentwicklung (Embryogenese). Differenzierung eines Zellverbandes, dessen Zell-zu-Zell-Kommunikation blockiert ist, ist nicht möglich. Ein Zusammenhang zwischen interzellulärer Kommunikation und morphologischen und funktionellen Differenzierungsprozessen - auch im Bereich der Tumorphistologie - scheint daher zwingend zu sein. Angewandt auf das hier vorgestellte Paar unterschiedlicher Gliome läßt sich die weitaus stärker ausgeprägte Zellkommunikation im F98 dahingehend interpretieren, daß F98 einen höheren Differenzierungsgrad als RG2 erreicht hat. Die offensichtliche Diskrepanz unserer Ergebnisse zur ursprünglichen Klassifizierung der beiden Gliome (s. 7.2.2) ließ sich vor kurzem durch Rücksprache mit der Arbeitsgruppe von Herrn Prof. Wechsler, der uns die Zellen freundlicherweise zur Verfügung stellte, klären. Nach neuesten, nicht mit der von uns bearbeiteten Fragestellung verknüpften Untersuchungen in seinem Labor, muß die ursprüngliche Klassifizierung aufgegeben werden. F98 wird nunmehr als differenziertes Glioblastom (Sarkom) eingestuft, RG2 hingegen als anaplastisches, undifferenziertes Gliom. Damit erwies sich die Messung der Zellkommunikation als wertvolle, unabhängige Klassifizierungshilfe für den Differenzierungsgrad einer Zellart.

## Strahlenresistenz von Tumorgewebe

Es entspricht alltäglicher strahlentherapeutischer Erfahrung, daß differenzierte Tumoren in der Regel strahlenresistenter sind als undifferenzierte, ohne daß diese Beobachtung bisher verstanden werden kann. Die in dieser Studie gewonnenen Ergebnisse zeigen, daß sich ein solches Verhalten mit multi-zellulären Sphäroiden aus Tumorzellen simulieren läßt. Da sowohl Differenzierung als auch Kontakt-Resistenz vom Ausmaß der interzellulären Kommunikation abhängen, kann die Strahlenresistenz differenzierter Tumoren aufgrund dieser Ergebnisse als Kontakt-Resistenz gedeutet werden. Sie ist zugleich durch Messung der interzellulären Kommunikation vorausbestimmbar. Während der Zusammenhang zwischen Kontakt-Resistenz und interzellulärer Kommunikation durch die bisherigen Arbeiten bereits hinreichend gesichert ist, bedarf die histologische und zellbiologische Differenzierung bezüglich ihrer Korrelation mit interzellulärer Kommunikation zweifellos weiterer Untersuchungen mit ähnlich "homogenem" Versuchsmaterial. Derartige Untersuchungen könnten endgültig erklären, ob die hier vorgestellten Ergebnisse einen allgemein gangbaren Weg markieren, die individuelle

Strahlenresistenz von Tumoren auf der Basis der interzellulären Kommunikation experimentell vorherzusagen.

### 7.3 Differenzierung von Zellen in Sphäroid-Kultur

G. Knedlitschek, H. Diabaté, A. Riedl, K.F. Weibezahn, H. Dertinger

#### 7.3.1 Einleitung

Will man die multizellulären Sphäroide hinsichtlich ihres biologischen Komplexitätsgrades einordnen, so muß man sie zwischen Organkulturen und Einschicht- bzw. Einzell-Suspensionskulturen einreihen. Sphäroide werden aus frisch isolierten Zellen oder aus etablierten Zelllinien gewonnen, indem man sie ohne weitere Zusätze (wie z. B. Matrixmaterial) zur Aggregation zwingt. Der wesentliche Vorteil des Sphäroidsystems liegt in der Tatsache begründet, daß die Zellen hier, im Gegensatz zur Einschichtkultur (Monolayer), ihre natürliche räumliche Anordnung, wie sie im Gewebe angetroffen wird, einnehmen können. In dieser Form entsprechen daher die Kulturbedingungen wesentlich eher der *in vivo* Situation im jeweiligen Organ und es kann, je nach Zellart, zur Zellvermehrung und/oder zur Auslösung von Differenzierungsprozessen kommen. Obwohl Sphäroide wesentliche Elemente einer Organkultur nicht besitzen (z. B. Strukturen aus Stützgewebe oder die Polarität von Epithelzellen), so ist das Spektrum der beobachteten Differenzierungseffekte, insbesondere in Sphäroiden aus nichttransformierten Zellen, beeindruckend: Es reicht von der Entwicklung bioelektrischer Aktivität in Sphäroiden aus Hirnzellen bis hin zu stabilen biochemischen Funktionen in Leberzell-Sphäroiden, für die wir erste Ergebnisse erzielen konnten (7.3.2)

Die molekularen Ursachen für diese Differenzierungsprozesse sind bisher nicht verstanden. Ihre Kenntnis ist aber, nicht zuletzt im Hinblick auf den qualifizierten Einsatz des Sphäroid-Systems zur Reduktion von Tierversuchen, dringend erforderlich. Im folgenden wird über erste biochemische Ereignisse mit Hepatozyten-Sphäroiden berichtet. Anschließend werden in diesem Zusammenhang experimentelle Möglichkeiten zur Erfassung der Zelldifferenzierung vorgestellt und über Verbesserungen der Methodik zur Messung der interzellulären Kommunikation berichtet.

#### 7.3.2 Sphäroide aus Ratten-Leberzellen

Histologische Details der im Vorjahr erstmals von Frau Dr. Knedlitschek hergestellten Hepatozyten-Sphäroide wurden bereits im Jahresbericht 1985 vorgestellt. Sie zeigen Gallekapillaren und andere Zeichen morphologischer Differenzierung. Die zur Sphäroid-Herstellung eingesetzten Hepatozyten werden durch rezirkulierende Leberfusion etwa 200g schwerer männlicher Ratten mit Collagenase gewonnen. Durch eine Reihe von Zentrifugationsschritten werden sie von den begleitenden Kontaminationen (vorwiegend Kupffer'sche Sternzellen und Endothelzellen) weitgehend gereinigt und anschließend in Medium suspendiert. Voraussetzung für die Gewinnung stabiler, kompakter Aggregate ist, daß der Anteil vitaler Zellen an der Gesamtzellzahl mehr als 80% beträgt. Hierbei spielt die Verfassung der Tiere, aber auch die Qualität der Collagenase eine ausschlaggebende Rolle. Die Leberfusion ist anderen (einfacheren) Isolationsmethoden für Hepatozyten in Bezug auf Vitalität und Zellausbeute deutlich überlegen. Bisher werden Hepatozyten hauptsächlich auf Collagen-beschichteten Kulturschalen kultiviert; bei dieser Kultivierungsmethode geht die Zellvitalität innerhalb weniger Tage stark zurück. Noch schneller als die Vitalität nimmt in den Hepatozyten-Monolayern jedoch die Aktivität leberspezifischer Enzyme ab (s. unten). In Hepatozyten-Sphäroiden bleibt die Zellvitalität dagegen über mehrere Wochen erhalten (Trypan-Blau-Ausschlußtest).

Um die biochemische Leistungsfähigkeit der Hepatozyten-Sphäroide zu überprüfen, wurde mit Untersuchungen der Aktivität leberspezifischer Enzyme begonnen. Von besonderem Interesse war hierbei zunächst die normalerweise sehr instabile Tyrosin-Aminotransferase (TAT), da sie zu den durch

Glucocorticoide induzierbaren Leberenzymen gehört. Tab. 7/2 zeigt, daß die Aktivität dieser Transaminase in 9 Tage alten Sphäroiden noch fast 50% des Wertes frisch isolierter Zellen erreicht. Im Monolayer wird zu diesem Zeitpunkt keine Aktivität mehr gefunden; diese Kultur ist bereits untergegangen. Bereits 24 h nach der Isolation beträgt die TAT-Aktivität im Monolayer nur noch etwa 1/5 des Wertes der Primärzellen. Die Aktivität zweier weiterer Enzyme, Ornithin-Carbamyl-Transferase (OCT) und Glutamat-Pyruvat-Transferase (GPT), scheint im Sphäroidverband ebenfalls stabilisiert zu werden im Vergleich zu gleichaltrigen Monolayer-Kulturen.

Bereits diese Ergebnisse vermitteln einen ersten Eindruck von den Möglichkeiten, differenzierte, leberspezifische Funktionen in Hepatozyten-Sphäroiden zu induzieren bzw. aufrecht zu erhalten. Zukünftige Untersuchungen sollen vor allem die Rolle der interzellulären Kommunikation bei diesen Prozessen klären. Interessanterweise ist Lebergewebe besonders reich an Gap-Junctions.

### 7.3.3 Zelldifferenzierung und ihre experimentelle Erfassung

Zelldifferenzierung kann bei vielen Zellarten induziert werden, z. B. durch den Einfluß benachbarter Zellen oder durch Hormone. Die Vorgänge der Differenzierung erfordern einen Informationsfluß, der die Weitergabe des Signals an benachbarte, nicht direkt dem Stimulus ausgesetzte Zellen, ermöglicht. Damit sich eine Zelle differenziert, d. h. bestimmte Struktur- und Funktionsmerkmale ausbildet, bedarf es zunächst eines Signales; als solches kann z. B. die kritische Konzentration eines Metaboliten wirken. Es ist denkbar, daß eine bestimmte Zell-Subpopulation innerhalb eines Sphäroids, etwa die inneren Zellen, in Ermangelung einer direkten Abgabemöglichkeit an das Nährmedium, einen niedermolekularen Stoff anreichert. Dieser könnte sich, z. B. über die Gap-Junctions, auf benachbarte Zellen ausbreiten und schließlich, bei Erreichen einer kritischen Konzentration, in allen Sphäroid-Zellen Differenzierungsprozesse auslösen. Die Beobachtung, daß z. B. die Kontakt-Resistenz erst bei einem bestimmten Sphäroid-Durchmesser (und damit Volumen/Oberfläche-Verhältnis) auftritt, dann aber alle Zellen erfaßt, spricht für einen derartigen Mechanismus. Da diese Art von Differenzierung in Abwesenheit von Gap-Junctions nicht erfolgt, muß die Synthese und Verbreitung eines solchen Signalstoffes eng mit der spezifischen biochemischen Funktion dieser Kommunikationskanäle verknüpft sein. Allerdings gibt es hierüber derzeit keine praktisch verwertbaren Erkenntnisse so daß wir uns für das weitere Vorgehen von folgender Hypothese leiten lassen:

Wir gehen davon aus, daß ein solcher Signalstoff seiner Natur nach ein sog. 'zweiter Botenstoff' (second messenger) ist. Zur Synthese dieser Stoffe in der Zelle kommt es beim Auftreten bestimmter Signal-Ereignisse an der Zellmembran. Bisher sind nur wenige solcher Signalbahnen bekannt, das Prinzip einer solchen Weiterleitung soll hier jedoch kurz aufgezeigt werden. Das klassische Beispiel ist die Bindung eines Hormons an spezifische Rezeptormoleküle auf der Außenseite der Zellmembran. Dadurch wird auf ihr eine lokale Konformationsänderung hervorgerufen, die über sog. G-Proteine ("Überträgermoleküle") auf die Innenseite der Membran 'transduziert' wird und dort ein sog. Verstärker-Protein aktiviert. Im Falle der Bindung eines beta-adrenergischen Hormons ist dieses Verstärker-Protein die Adenylat-Cyclase. Sie synthetisiert daraufhin in verstärktem Maße cyclisches Adenosin-Monophosphat (cAMP) als zweiten Botenstoff (als erster Botenstoff fungiert das Hormon). Dieses zellinterne Signal (cAMP) aktiviert seinerseits meist eine Protein-Kinase, welche nun eine Reihe von Proteinen und Enzymen in der Zelle phosphorylieren und damit deren Aktivität ändern kann. Durch die Veränderung des Protein-Phosphorylierungsmusters wird, möglicherweise über eine ganze Kaskade von weiteren Reaktionen, eine "Antwort" der Zelle auf das primäre Signal (Hormon) ausgelöst; die morphologischen und biochemischen Eigenschaften der Zelle werden verändert, es kommt zur Differenzierung. Neben dem cAMP sind weitere 'second-messenger'-Systeme bekannt (z. B. Calcium-Ionen), die auf unterschiedliche 'Reize' der Zellmembran hin das Differenzierungsmuster der Zelle verändern können. Ein solches Differenzierungssignal kann aber auch über Zellkontakte und Zellkommunikation entstehen, wie die Zellantwort 'Kontakt-Resistenz' deutlich macht. Demnach scheinen auch Gap-Junctions oder durch sie vermittelte Signale in die second-messenger-Synthese eingreifen zu können. Tatsächlich konnte in einigen bisher von uns untersuchten Sphäroiden aus kommunizierenden Zellen eine Verringerung der Adenylat-Cyclase-Aktivität beobachtet werden. Eingehendere Untersuchungen sollen nun klären, welche der bekannten 'second-messenger'-Systeme in Abhängigkeit von der interzellulären Kommunikation über Gap-Junctions geändert werden und welche Änderungen des Phosphorylierungs-

und Aktivitätsmuster der zellulären Proteine damit einhergehen. Da der Differenzierungszustand einer Zelle erst durch Vergleich erkennbar wird, werden neben der Morphologie (s. HS-Jahresbericht 1985 und KfK Nachrichten 18/1986) zunächst vor allem die Proteinmuster (nach gelelektrophoretischer Auftrennung) von Monolayer- und Sphäroidzellen analysiert. Änderungen in der Menge einzelner Proteine und die Veränderung des Phosphorylierungsgrades bestimmter Zellproteine werden erwartet.

In den letzten Monaten des Berichtszeitraumes wurde mit derartigen Analysen an den bereits in Abschnitt 7.2 beschriebenen Gliom-Zelllinien und weiteren z. Z. in unserem Labor eingesetzten etablierten Zelllinien begonnen. Vorläufige Ergebnisse zeigen bereits für die Rohextrakte aus Monolayer- und Sphäroidzellen deutliche Abweichungen im Proteinmuster, schon bei eindimensionaler Auftrennung.

Eine noch bessere Auflösung erhält man bei zweidimensionaler Gel-Elektrophorese. Hierbei erfolgt zunächst eine Auftrennung der Proteine nach ihrem isoelektrischen Punkt (isoelektrische Fokussierung) und anschließend zusätzlich nach ihrem Molekulargewicht. Abb. 7/6 zeigt solche 2D-Gele von Monolayern und Sphäroiden der Maus-Zelllinie 3T3. Die Unterschiede in der Intensität einiger Flecken signalisieren unterschiedliche Mengen dieser Proteine unter den beiden Kulturbedingungen. Die schrittweise Aufbereitung des Zellhomogenats und Proteinauftrennung der einzelnen Fraktionen (Kern, Membran, Zytoplasma) soll gleichzeitig eine Aussage über die Lokalisierung der variablen Proteine in der intakten Zelle erlauben und damit ihre Charakterisierung erleichtern.

#### 7.3.4 Verbesserung der Meßmethodik für die interzelluläre Kommunikation

Wir benutzen derzeit vorwiegend die Mikroelektrodenteknik zum Nachweis der über Gap-Junctions vermittelten interzellulären Kommunikation, da mit dieser Methode eine besonders empfindliche Bestimmung des zellulären Kopplungsgrades möglich ist. Die Messung der Zellkommunikation über den interzellulären Austausch von fluoreszierenden Stoffen (Lucifer Yellow) scheint dieses Phänomen zu unterschätzen. Die elektrische Zell-Zell-Kopplung kann entweder als Signalkopplung über die beobachtete Spannungsabnahme in der Nachbarzelle, oder über die durch Kopplung bewirkte Verringerung des scheinbaren Membranwiderstandes einer Zelle im Verband (interzelluläre Stromverzweigung durch Gap-Junction-vermittelte Querleitfähigkeit!) gemessen und quantifiziert werden. Die im folgenden beschriebenen Verbesserungen der Meßtechnik versetzen uns in die Lage, auch geringe Kopplungsänderungen, wie sie beispielsweise durch kommunikations-inhibierende Stoffe bewirkt werden, zuverlässig zu erfassen.

##### 7.3.4.1 Widerstands- und Kopplungsmessung an Säugetierzellen

Der Membranwiderstand an bzw. die Signalkopplung zwischen Säugetierzellen wird mit der Mikroelektrodenteknik unter mikroskopischer Kontrolle gemessen. Dazu werden die Zellen als Monolayer (Einschichtkultur) oder als Sphäroide gezüchtet. Zur Messung wird in beiden Fällen die Petrischale mit geeignetem Nährmedium benutzt. Zur Aufrechterhaltung physiologischer Bedingungen wird die Messung in Zellkulturmedium vorgenommen, das auf dem Mikroskopisch durch eine Temperiereinrichtung auf ca. 35° C gehalten wird. Der pH-Wert des Mediums wird durch Zugabe von HEPES-Puffer (0,3 M, pH 7,5) stabilisiert. Während der Messung werden die Zellen auf der Petrischale durch ein Mikroskop (Leitz, Wetzlar) mit einem Objektiv von großem Arbeitsabstand (16 mm) unter Phasenkontrast beobachtet. Zwei Glasmikroelektroden lassen sich durch je einen Mikromanipulator (Leitz, Wetzlar) getrennt mechanisch bewegen. Das Kapillarglas wird jeweils direkt vor der Messung mit einem Kapillarzyehgerät zu einer Spitze ausgezogen, die eine Spitzenöffnung von ca. 0,1 µm aufweist. Danach wird die Kapillare mit 3 molarer KCl-Lösung unter Verwendung einer feinen Spritze gefüllt. Die Kapillare wird in eine ebenfalls mit 3 molarer KCl-Lösung gefüllte Elektrodenhalterung eingeschoben, die ihrerseits mit dem Elektrodenanschluß eines Elektrodenverstärkers verbunden ist. Unter optischer Kontrolle wird die Elektroden spitze in einer ebenfalls mit KCl gefüllten Petrischale geeicht. Die Lösung der Petrischale ist über eine in Glas eingebettete Agarbrücke mit dem Massepotential des Elektrodenverstärkers verbunden (Abb. 7/7).

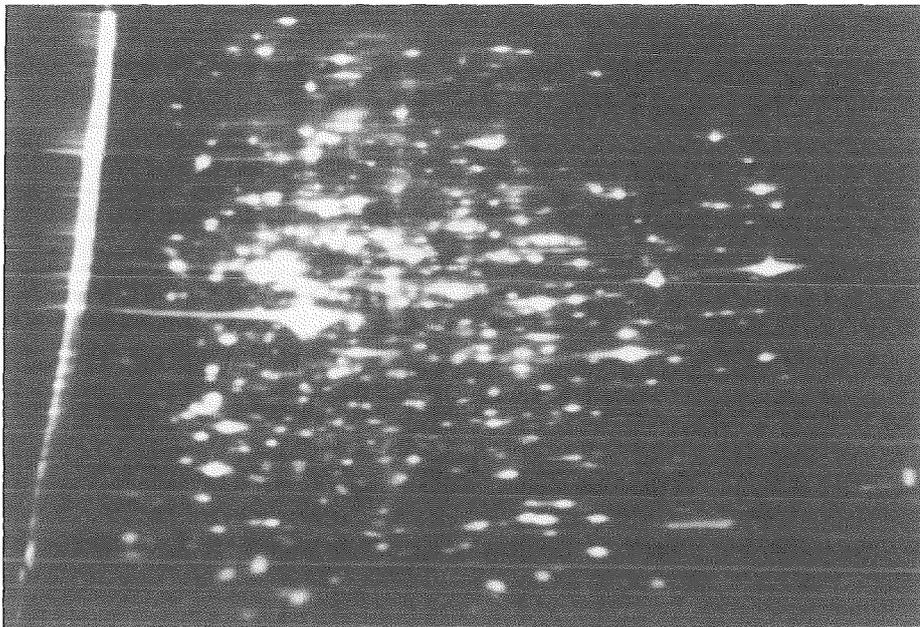
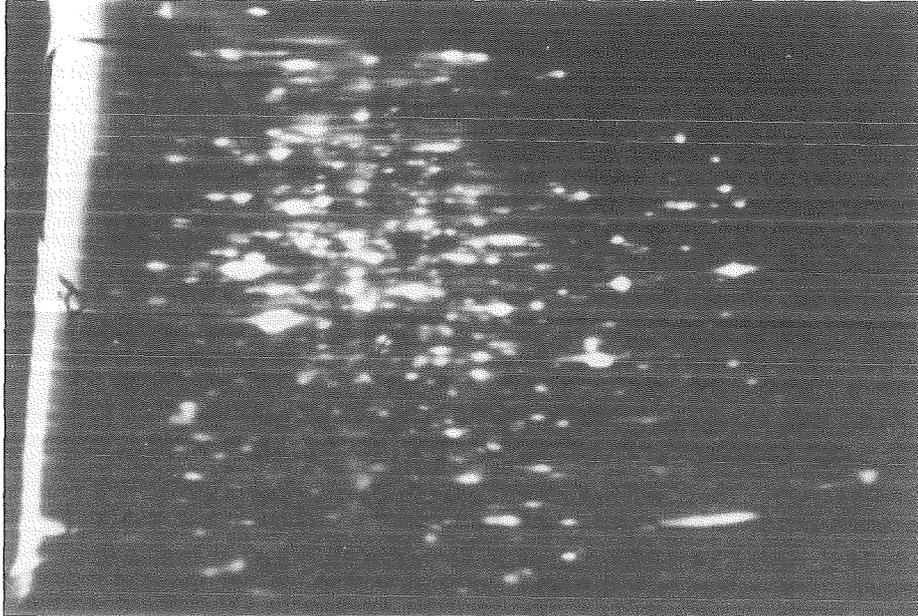


Abb. 7/6: Zweidimensionale Gel-elektrophoretische Auftrennung der Zellproteine von 3T3-Sphäroiden (oben) und 3T3-Monolayern (unten). Horizontal: pH-Wert. Vertikal: Molekulargewicht.

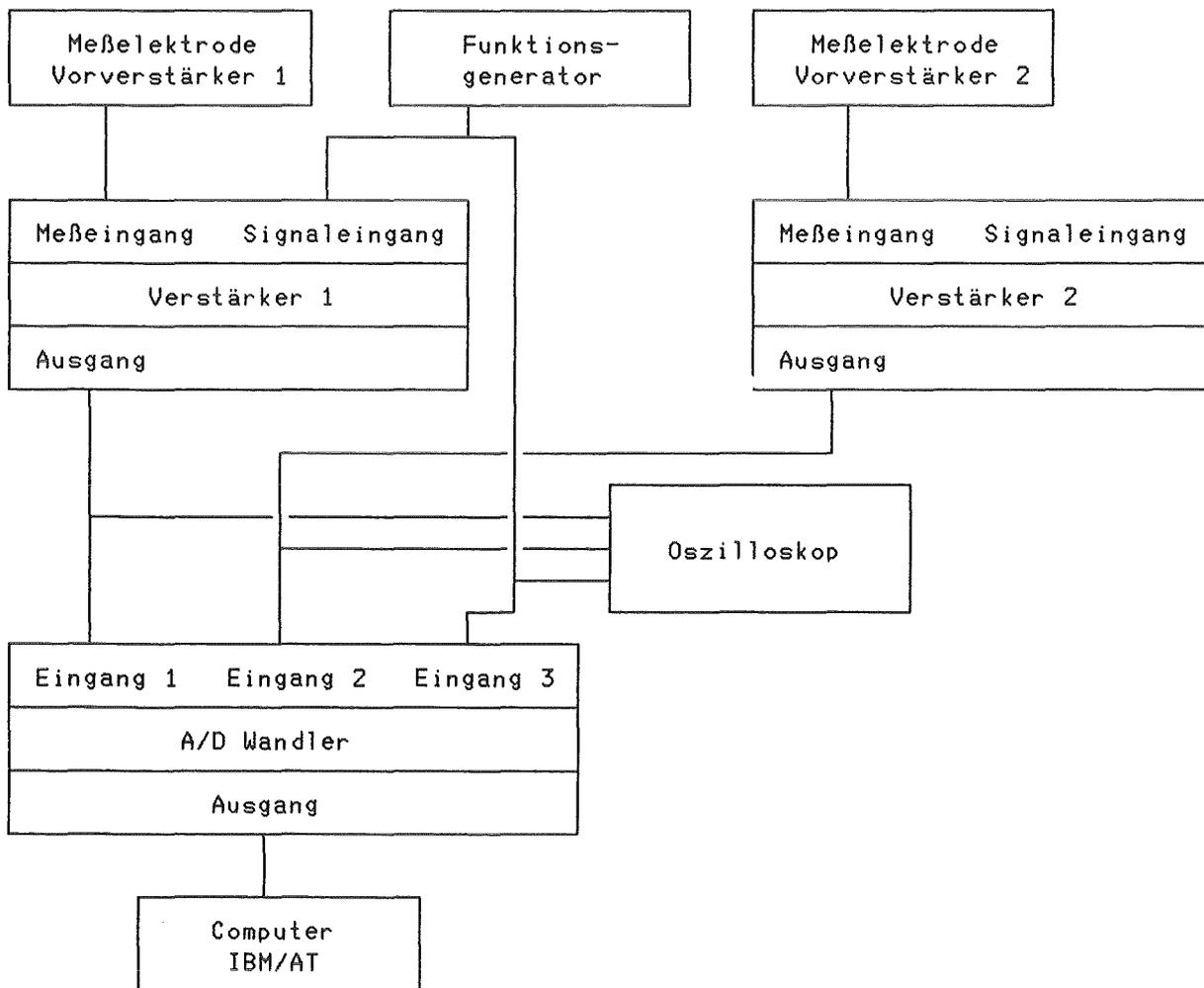
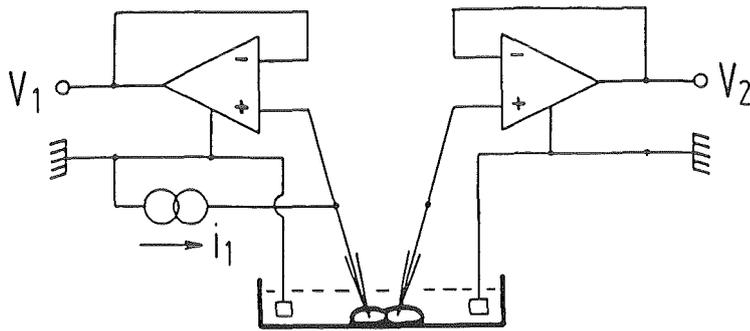


Abb. 7/7: Mikro-Elektrode-technik zur Messung der elektrischen Zell-zu-Zell-Kopplung.

#### 7.3.4.2 Messung des Membranwiderstandes

Der Elektrodenverstärker erlaubt mittels einer kalibrierten Meßbrücke eine präzise Bestimmung des Widerstands der Glaselektrode. Hierzu wird in den Eingang des Brückenverstärkers ein sinusförmiges Meßsignal von 30 Hz bei  $\pm 5V$  eingespeist (Funktionsgenerator, Toellner). Der kapazitive Widerstandsanteil der Glaselektrode wird elektronisch kompensiert und über eine DC-Offset Regelung der Gleichspannungsanteil des Signals auf 0V eingestellt. Das Spannungsverhältnis des eingespeisten Signals zum Signal am 10x-Ausgang des Elektrodenverstärkers korreliert linear mit dem Widerstand des Elektrodenkreises und wird dazu benutzt, die Widerstandsvariation bei der Membranmessung an Zellen kontinuierlich mit einem über ein IEC-Interface angeschlossenen Computer (IBM-AT) zu ermitteln.

Die erste Widerstandsmessung der Glaselektrode in der KCl-Lösung ergibt gewöhnlich einen unstabilen Wert, was daher rührt, daß die Spitze der Glaselektrode im frischgefüllten Zustand noch kein Ionengleichgewicht aufweist. Nach ca 10-15 Minuten stabilisiert sich der Widerstandswert auf einem bestimmten Niveau, da jetzt durch Diffusion der Ionen ein Gleichgewicht in der gesamten Elektrode herrscht. Die Elektrode ist nun für die eigentliche Messung vorbereitet.

Bei der Messung werden die Mikroelektroden unter einem Winkel von ca 15° in das Medium eingetaucht. Das Mikroskop wird auf die Oberfläche der Zellen fokussiert (Zelldurchmesser ca 10-15  $\mu m$ ) und anschließend die Mikroelektrode vor dem eigentlichen Einstich in die Zellmembran durch den Manipulator oberhalb der Schärfenebene gehalten und vorjustiert. Beim Berühren der Zelloberfläche erkennt man im Phasenkontrast um die Elektrodenspitze einen hellen Hof. Der erfolgreiche Einstich durch weiteres vorsichtiges Absenken der Elektrode läßt sich daran erkennen, daß am Ausgang des Verstärkers das eingespeiste 30 Hz-Signal um das Membranpotential der Zelle (ca. -40 mV) gleichspannungsmäßig verschoben ist. Gleichzeitig erhöht sich der Widerstand der Elektrode um den Wert des Membranwiderstands der Zelle. Nach dem Herausziehen der Elektrode aus der Zelle sollten die zuvor im Medium gemessenen Werte für Widerstand und Gleichspannung wieder erreicht sein. Die Zelle wird durch den Einstich in der Regel nicht zerstört. Mehrfache Messungen an ein und derselben Zelle sind möglich.

Hierzu ist der jeweilige Elektrodenverstärker über einen 32-Kanal-Multiplexer an einen 12-Bit A/D Wandler angeschlossen (WES, Nidderau). Über eine extern steuerbare High-speed-Clock erfolgt die Kanalauswahl und die Vorgabe der Anzahl der Meßwerte, die pro Kanal an den Computer über die IEC-Schnittstelle weitergegeben werden. Interface und Meßwerte werden programmgesteuert erfaßt (Eigenentwicklung in Turbo-Pascal). Das Programm ermittelt aus den an den jeweiligen Ein- bzw Ausgängen anliegenden Signalen (nachdem über den A/D Wandler jeweils 500 Einzelmeßwerte gespeichert wurden) den zugehörigen Wert für die Signalamplitude und den Mittelwert (Gleichspannungsanteil). Diese Werte werden auf dem Bildschirm grafisch und numerisch dargestellt. Außerdem wird der Gleichspannungsanteil des Signals (gleichbedeutend mit dem Membranpotential einer angestochenen Zelle) akustisch durch den Computer gemeldet. Damit ist zusätzlich eine akustische Kontrolle eines erfolgreichen Membrandurchgangs der Elektrode möglich, ohne daß das Auge die Zellbeobachtung aufgeben muß.

#### 7.3.4.3 Messung der Signalkopplung von Zelle zu Zelle.

Vor der eigentlichen Kopplungsmessung müssen beide Meßelektroden mit dem oben geschilderten Programm im Widerstand geeicht sein. Dann wird mit der Input-Elektrode (Kanal 1) eine Zelle in einem Zellverband angestochen. Diese Elektrode bleibt eingestochen. Sodann sticht man mit einer zweiten Meßelektrode (Kanal 2) in die Nachbarzelle. Das Programm zeigt das eventuell eingekoppelte Signal grafisch und numerisch auf dem Bildschirm an. Außerdem erhält der Experimentator über die akustische Anzeige eine zusätzliche Information über einen erfolgreichen Einstich in die Nachbarzelle. Der erfolgreiche Einstich in die Inputzelle (Kanal 1) läßt sich neben der Beobachtung des zugehörigen numerisch angezeigten Gleichspannungswertes, der ein Maß für das Membranpotential der Zelle darstellt, noch durch den gleichzeitigen Einstich der Meßelektrode (Kanal 2) in die Inputzelle beurteilen. Dieser Meßvorgang wird mit möglichst vielen Zellpaaren wiederholt (Abb. 7/7).

#### 7.3.4.4 Auswertung der Meßdaten

Die gesammelten Meßdaten werden mit einem weiteren Programm gemittelt. Auf diese Weise bestimmt man die mittlere Signalhöhe zwischen verschiedenen Nachbarzellen einer Zellkultur, die im Verhältnis zur mittleren Signalhöhe, welche bei Einstich beider Elektroden in die jeweils gleiche Zelle erhalten wird, die mittlere elektrische Kopplung der untersuchten Zellkultur charakterisieren. Durch diese Meßmethode und Auswertung erhält man eine statistisch quantifizierbare Aussage über die elektrische Zellkommunikation, die erstmals auch die Bestimmung kleiner Kopplungsunterschiede bei verschiedenen Zellarten ermöglicht.

	F98	RG2
Zell-zu-Zell-Kopplung (1)	0,20	0,12
Mittlere Abtötungsdosis / Gy	4,63	2,23
$\alpha/\text{Gy}^{-1}$ (2)	0,157	0,355
$\beta/\text{Gy}^{-2}$ (2)	0,0075	0,018

(1) Spannungsverhältnis Nachbar/Injektorzelle (s. 7.3.4)

(2) Für die Anpassung:  $\log(\text{Überlebensrate}) = -\alpha D - \beta D^2$

Tab. 7/1: Elektrische Kopplung und Kenngrößen der Überlebenskurven (Abb. 7/5) von F98 und RG 2

Kulturform	Alter/h		
	0	24	216
Primärzellen	80	0	0
Monolayer	-	17	0
Sphäroide	-	-	35

Tab. 7/2: Tyrosin-Aminotransferase (TA'T)-Aktivität in Ratten-Leberzellen (Milli-Units pro mg Protein).

## 8 Untersuchungen im Zusammenhang mit dem Reaktorunfall von Tschernobyl

Der Reaktorunfall bedeutete für viele Mitarbeiter der Hauptabteilung Sicherheit erhebliche zusätzliche Arbeitsbelastung. Im folgenden wird hierüber ohne gegenseitige Abstimmung abteilungsweise berichtet. Es sind die wesentlichen Ergebnisse zusammengefaßt.

### 8.1 Ergebnisse der von der Abteilung "Radioökologie" ausgeführten Untersuchungen

L.A. König, H. Schüttelkopf, H. Fessler, S. Hempelmann, A. Wicke

#### 8.1.1 Einleitung

In der Nacht zum und in den frühen Morgenstunden des 30. April 1986 gelangte mit einer bodennahen östlichen Luftströmung über Süddeutschland erstmals von dem Reaktorunfall Tschernobyl stammende Radioaktivität in die Bundesrepublik Deutschland. Im Kernforschungszentrum Karlsruhe wurden erste Veränderungen der Umgebungsaktivität nach 10.00 Uhr gemessen. Am 1. Mai 1986 zwischen 10.00 und 11.00 Uhr begannen die Dosisleistungsmessgeräte, die im Kernforschungszentrum Karlsruhe installiert sind, über den Grundpegel von 90 nSv/h steigende Werte anzuzeigen. Die  $\gamma$ -Dosisleistungswerte erreichten am 2. und 7. Mai 1986 - jeweils nach kurzen Regenfällen - ihre höchsten Werte von 170 und 210 nSv/h.

Erhöhte  $\beta$ -Aktivität in der Umgebungsluft wurde auf einem Filter und erhöhte  $\gamma$ -Aktivität auf der für die Iodüberwachung installierten Aktivkohle gefunden, die am 30. April 1986 zwischen 11.00 und 17.00 Uhr beaufschlagt worden waren. Die Aktivitätskonzentration des 30. April 1986 war relativ niedrig und nahm in der Nacht noch wesentlich ab. Erst im Laufe des 1. Mai 1986 traf mit einer schwachen östlichen Luftströmung der Hauptteil der radioaktiven Wolke in der Bundesrepublik Deutschland ein. Die maximalen Luftkonzentrationen wurden am 1. und 2. Mai 1986 mit Spitzenwerten von 29,4 Bq I-131/m<sup>3</sup> und 5,8 Bq Cs-137/m<sup>3</sup> erreicht. Außer diesen Radionukliden war auch eine große Anzahl anderer Radionuklide  $\gamma$ -spektrometrisch meßbar.

Seit dem 2. Mai 1986 nahm die Luftkontamination ab. Bei Winden aus südlichen Richtungen blieb jedoch noch eine gewisse Restkontamination erhalten. In der Nacht zum und in den Morgenstunden des 7. Mai 1986 gelangte mit einer kräftigen Westströmung ein ausgedehntes Niederschlagsgebiet nach Baden-Württemberg. Diese Niederschläge reinigten die Luft weitgehend. Ab dem 9. Mai 1986 waren die Meßwerte für I-131 unter 0,1 Bq I-131/m<sup>3</sup>.

Generell haben die Niederschläge dem Boden und Bewuchs erheblich mehr Radioaktivität zugeführt als die trockene Ablagerung aus der radioaktiven Wolke. Im Raum Karlsruhe waren in der relevanten Zeit zwischen dem 1. und 7. Mai 1986 sehr geringe und kurze Zeit anhaltende Niederschläge aufgetreten. Daher war die Gesamtablagerung im Raum des Kernforschungszentrums Karlsruhe niedriger als in anderen Teilen der Bundesrepublik Deutschland, z. B. in Oberschwaben und in Südbayern.

Über die vor der Drucklegung (August 1986) angefallenen Meßergebnisse wurde zusammenfassend im KfK 4115 berichtet. Die Strahlenexposition im Raum Karlsruhe war Gegenstand des KfK 4140 (November 1986). Im folgenden werden die bisher veröffentlichten Ergebnisse zusammengefaßt und durch weitere neue Ergebnisse ergänzt.

### 8.1.2 Der Verlauf der Ortsdosisleistung

Für die Messung der Ortsdosisleistung wurde ein energiekompensiertes  $\gamma$ -Proportionalzählrohr, Typ LB 6005 der Fa. Berthold, Wildbad verwendet. Am 1. Mai 1986 wurde ein erster Anstieg festgestellt. Danach nahm die Dosisleistung wieder etwas ab. Nach einem Gewitterregen am 7. Mai 1986 stieg die Dosisleistung auf den Maximalwert von 210 nSv/h an. Ab dann sank sie kontinuierlich und beträgt seit dem 25. Mai 1986 100 bis 110 nSv/h. Vor dem Reaktorunfall lag der Normalwert bei 90 bis 100 nSv/h. Da das Zählrohr ausgewechselt wurde, ist seine Kontamination auszuschließen. In Tab. 8/1 ist die akkumulierte Gesamtdosis sowie ihr unfallbedingter Anteil für die Monate Mai bis November dargestellt. Bis Ende November ist durch den Reaktorunfall in Tschernobyl insgesamt eine zusätzliche äußere Strahlenbelastung von 70  $\mu$ Sv entstanden.

1986	Akkumulierte Dosis ( $\mu$ Sv)	Unfallbedingte akkumulierte Dosis ( $\mu$ Sv)
Mai	100	30
Juni	180	43
Juli	260	52
August	340	60
September	400	64
Oktober	490	67
November	560	70

Tab. 8/1: Akkumulierte Dosis (Beginn 1. Mai 1986)

Der Fehler der Dosismessung wird auf  $\pm 3,6 \mu$ Sv/Monat (= 5 nSv/h) geschätzt. Der Fehler der angegebenen unfallbedingten Dosis beträgt also ca. 5  $\mu$ Sv/Monat (Differenzbildung).

Der oben genannte Wert von 70  $\mu$ Sv wird auch durch die Auswertung der Festkörperdosimeter (LiF-Preßlinge) in der Umgebung des KfK bestätigt. Die Dosimeter sind auf Hausdächern aufgehängt und werden halbjährlich ausgewechselt. In Tab. 8/2 sind die Mittelwerte der Halbjahresdosis von November 1980 bis April 1986 und im Vergleich dazu die Halbjahresdosis von April bis Oktober 1986 dargestellt. Die Differenz zwischen den Meßwerten beträgt 50 bis 60  $\mu$ Sv. Unter Berücksichtigung des Meßfehlers von  $\pm 20 \mu$ Sv stimmen die mit den Dosimetern und dem Dosisleistungsmeßgerät ermittelten Dosen überein.

Nimmt man an, daß entsprechend Tab. 8/1 die Dosis durch externe Strahlenexposition für den Rest des ersten Jahres nach dem Unfall um 3  $\mu$ Sv pro Monat zunimmt, so erhält man für das erste Jahr eine unfallbedingte externe Strahlenexposition von 85  $\mu$ Sv. Diese Dosis würde man bei ständigem Aufenthalt im Freien erhalten. Bei realistischen Lebensgewohnheiten entfallen mehr als 80 % dieser Dosis durch die abschirmende Wirkung von Gebäuden (ca. 4 h täglicher Aufenthalt im Freien). Somit können 14  $\mu$ Sv als realistischer Wert für die zusätzliche externe Strahlenexposition des ersten Jahres nach dem Reaktorunfall angesehen werden.

Meßort	Zeitraum Mittelwert der Halbjahresdosis Nov. 80 - April 86 in $\mu\text{Sv}$	Halbjahresdosis April 86 bis Okt. 86 in $\mu\text{Sv}$	Differenz zwischen den Halbjahresdosen in $\mu\text{Sv}$
Kernforschungszentrum	300	360	60
Leopoldshafen	310	360	50
Linkenheim	350	410	60
Forsthaus	300	350	50
Friedrichstal	340	390	50
Blankenloch	350	410	60
Karlsruhe	330	380	50

Tab. 8/2: Dosis bei verschiedenen Stationen in der Umgebung des KfK

### 8.1.3 Die Radioaktivität der bodennahen Umgebungsluft

Da die Aktivitätskonzentration in der bodennahen Umgebungsluft für die Inhalationsdosis, die Ablagerung auf Futterpflanzen und Gemüse und damit auch für die Kontamination von Milch und Fleisch verantwortlich ist, wurden sorgfältige Messungen dieser Konzentrationen vorgenommen.

Zur Aerosolprobenahme wurden Glasfilter von 20 cm Durchmesser mit einem Durchfluß von 25 m<sup>3</sup>/h bestaubt. Parallel dazu wurde eine Aktivkohlepatrone mit 300 ml Aktivkohle bei einem Durchfluß von 2,4 m<sup>3</sup>/h betrieben. Zur Beseitigung der Aerosole war ein Glasfaserfilter der Aktivkohlepatrone vorgeschaltet. Die Aerosolfilter wurden nach der Entnahme zur  $\alpha$ - und  $\beta$ -Aktivitätsmessung gebracht. Gemessen wurde in einem Großflächendurchflußzähler, die Meßzeiten lagen im Bereich einiger Minuten. Es wurde eine maximale  $\beta$ -Aktivitätskonzentration von 100 Bq/m<sup>3</sup> am 3. Mai 1986 gefunden. Die  $\beta$ -Aktivitätskonzentration nahm in den folgenden sieben Tagen um 3 Größenordnungen ab und erreichte am 12. und 13. Mai 1986 den unter den gegebenen Meßbedingungen erhaltenen Untergrund. Dieser Untergrund ist im wesentlichen auf die natürliche  $\beta$ -Aktivität der zum Teil sehr kurzlebigen Radonfolgeprodukte zurückzuführen. Die maximale  $\beta$ -Aktivitätskonzentration dürfte um den Faktor 2 bis 4 über der natürlichen  $\beta$ -Aktivität der Umgebungsluft gelegen sein.

In der Zeit vom 1. bis 7. Mai 1986 lagen die  $\alpha$ -Aktivitäten scheinbar um den Faktor 10 über dem Untergrund. Wegen der extrem hohen  $\beta$ -Aktivitäten auf den Aerosolfiltern wird angenommen, daß die Impulse, die scheinbar auf  $\alpha$ -Teilchen zurückzuführen sind, Folge der Superposition von Ladungen sind, die im Proportionalzählrohr einen entsprechenden "α-Effekt" verursachten. Die später durchgeführten Aktinidenanalysen bestätigten, daß durch die Radioaktivitätswolke des Reaktorunfalls von Tschernobyl keine nennenswerten  $\alpha$ -Aktivitäten in die bodennahe Umgebungsluft gelangten.

Nach der Messung der  $\alpha$ - und  $\beta$ -Aktivitätskonzentration wurden die Aerosolfilter und Aktivkohlepatronen mit einem Germanium-Lithium-Detektor  $\gamma$ -spektrometriert. Als wichtigste  $\gamma$ -Strahler wurde Te-132, I-131, Cs-137 und Cs-134 ausgewertet (Abb. 8/1). Außerdem wurden in den ersten Tagen des Mai noch die Isotope Ru-103, Te-129m, Ru-106, La-140, Ba-140, Nb-95, Tc-99m, Mo-99, Ag-110m, Sb-125, Cs-136 und Ce-141 identifiziert.

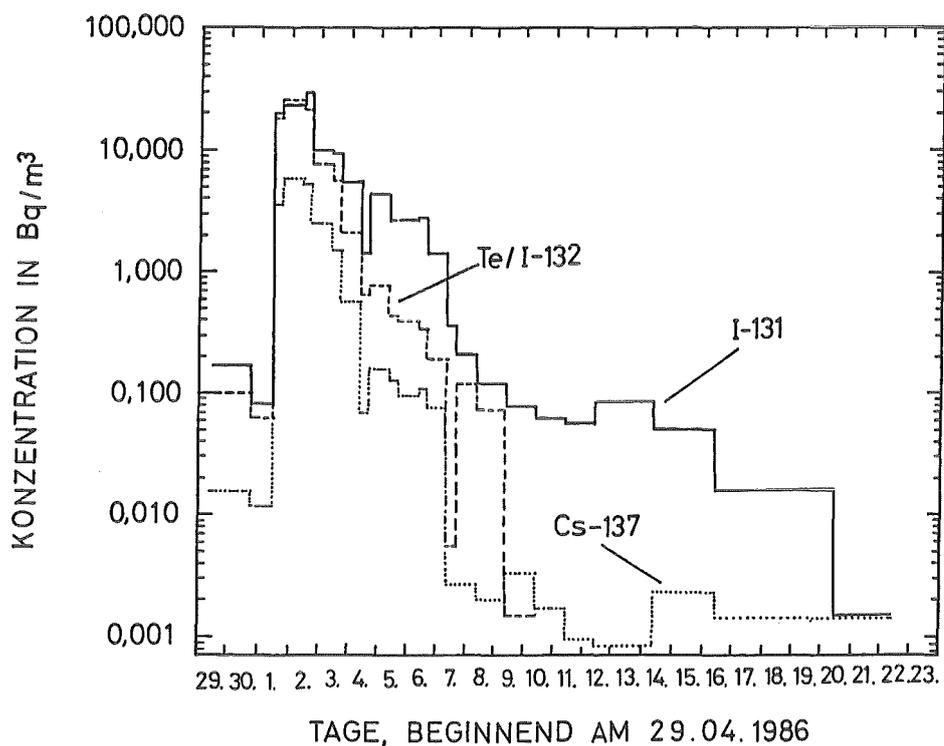


Abb. 8/1: Zeitlicher Aktivitätsverlauf in der Luft im Raum Karlsruhe für die Nuklide Te/I-132, I-131 und Cs-137

Ende Mai 1986 erreichte die Konzentration Werte, die 10000- bis 20000fach unter den Maximalwerten lagen. Die Strahlenexposition durch Inhalation und  $\gamma$ -Submersion ist weitgehend auf den Zeitraum des Durchzugs der luftgetragenen Radioaktivität bestimmt. Entscheidend für die resultierende Aktivitätszufuhr durch Inhalation und der daraus resultierenden Inhalationsdosis ist das Zeitintegral über die Aktivitätskonzentrationen in der Luft (in  $\text{Bq}\cdot\text{d}/\text{m}^3$ ). Die aus dem Konzentrationsverlauf ermittelten Integralwerte sind für die gemessenen Radionuklide in Tab. 8/3 zusammengestellt.

Radionuklid	Konzentrationsintegral ( $\text{Bq}\cdot\text{d}/\text{m}^3$ )*
Sr-89	0,4
Sr-90	0,06
Ru-103	10,5
Ru-106	1,9*
Te/I-132	38,3
Te-129m	7,3
I-131	50,8
Cs-134	4,8
Cs-137	9,2

\* extrapoliert aus Einzelmessungen

Tab. 8/3: Aerosol- und Iodaktivität in der Luft, Konzentrationsintegrale

Zur Ermittlung der durch Inhalation eines Radionuklids zu erwartenden Folge-Äquivalentdosis  $H_{inh}$  kann folgende Beziehung herangezogen werden:

$$H_{inh} = h_{inh} \cdot v \cdot A_L$$

Hierbei ist  $A_L$  das obengenannte Zeitintegral über die betrachtete Aktivitätskonzentration in der Luft,  $h_{inh}$  ist der Inhalationsdosisfaktor des jeweiligen Radionuklids (in Sv/Bq) und  $v$  stellt die mittlere Atemrate dar (in  $m^3/d$ ).

Die Berechnungen wurden für Erwachsene und Kleinkinder der Altersklasse bis 1 Jahr durchgeführt. Dabei wurden die alterskorrigierten Inhalationsdosisfaktoren für die Clearance-Klasse D benutzt, wie sie auf der Basis der ICRP-Empfehlungen (ICRP Publ. 30) abgeleitet und vom Bundesgesundheitsamt publiziert worden waren (ISH-Berichte 63 und 78, 1985) (Tab. 8/4).

Radionuklid	Effektivdosisfaktor in Sv/Bq			
	Erwachsene		Kleinkinder bis 1 Jahr	
	Inhalation	Ingestion	Inhalation	Ingestion
Sr-89	1,1 E-08	2,5 E-09	8,0 E-08	2,5 E-08
Sr-90	3,5 E-07	3,5 E-08	1,9 E-06	1,1 E-07
Nb-95	1,6 E-09	6,9 E-10	6,8 E-08	1,4 E-08
Mo-99	1,1 E-09	1,4 E-09	7,9 E-09	1,0 E-08
Tc-99m	8,8 E-12	1,7 E-11	7,2 E-11	1,6 E-10
Ru-103	2,4 E-09	8,2 E-10	1,2 E-08	3,5 E-08
Ru-106	1,3 E-07	7,4 E-09	9,0 E-07	5,8 E-08
Ag-110m	2,2 E-08	2,9 E-09	2,1 E-07	1,2 E-08
Sb-125	3,3 E-09	7,6 E-10	2,7 E-08	4,7 E-09
Te-129m	6,5 E-09	2,9 E-09	4,7 E-08	2,3 E-08
Te-132	2,4 E-09	2,4 E-09	3,6 E-08	3,5 E-08
I-131	8,1 E-09	1,3 E-08	6,6 E-08	1,1 E-07
Cs-134	1,3 E-08	2,0 E-08	7,3 E-09	1,2 E-08
Cs-136	2,0 E-09	3,0 E-09	4,7 E-09	6,7 E-09
Cs-137	8,6 E-09	1,4 E-08	6,4 E-09	9,3 E-09
Ba-140	1,0 E-09	2,5 E-09	8,2 E-09	1,9 E-08
La-140	1,3 E-09	2,3 E-09	8,6 E-09	1,5 E-08
Ce-141	2,4 E-09	7,8 E-10	1,7 E-08	6,2 E-09
Ce-144	1,0 E-07	5,7 E-09	7,0 E-07	4,5 E-08

Tab. 8/4: Dosisfaktoren nach Bundesgesundheitsamt Neuherberg (Institut für Strahlenhygiene, ISH-Berichte 63 und 78, 1985)

Als mittlere Atemraten wurde nach ICRP Publ. 23 für die Altersklasse bis 1 Jahr  $4 \text{ m}^3/\text{d}$  und für Erwachsene  $22 \text{ m}^3/\text{d}$  angenommen. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, daß die Strahlenexposition durch Inhalation in Wohnräumen den gleichen Wert hat wie im Freien. Der Grund für diese Annahme ist das schöne Wetter in dem für die Exposition relevanten Zeitraum vom 1. bis 5. Mai 1986 und die Tatsache, daß drei der genannten Tage Feiertage waren und daher nicht nur ein erhöhter Anteil der Zeit im Freien verbracht wurde, sondern auch Fenster und Balkontüren geöffnet waren.

Aus den Rechnungen ergeben sich die in Tab. 8/5 angegebenen Dosisbeiträge. Demnach liefert die Inhalation von I-131 mit 45 % den höchsten Beitrag. Beachtlich ist der dosisrelevante Anteil des Ru-106 mit rund 25 %. Die übrigen Radionuklide liefern Einzelbeiträge jeweils unter 10 %. Insgesamt ergibt sich für den Inhalationspfad eine Effektivdosis von rund  $22 \mu\text{Sv}$  (2,2 mrem) für Erwachsene und rund  $29 \mu\text{Sv}$  (2,9 mrem) für Kleinkinder. Diese Werte unterliegen selbstverständlich regionaler und individueller Schwankungen, dürften aber für den Raum Karlsruhe typisch sein.

Die Anwendbarkeit der verwendeten Dosisfaktoren hängt neben der angenommenen Löslichkeitsklasse weitgehend von der Aerosolgrößenverteilung ab. Zur Abklärung wurden daher in den ersten Maiwochen eine Reihe von Messungen der nuklidspezifischen Aerosolgrößenverteilung mit Hilfe eines Impaktors (Sierra Instruments Serie 230, Universität Göttingen) durchgeführt. Die ermittelte Größenverteilungen für Cs-134 und Cs-137 sind Abb. 8/2 zu entnehmen. Die Medianwerte der Verteilungen liegen zwischen  $0,4$  und  $0,8 \mu\text{m}$ . Für I-131 sieht das Bild ähnlich aus. Für diesen Teilchengrößenbereich sind die benutzten Dosisfaktoren durchaus anwendbar.

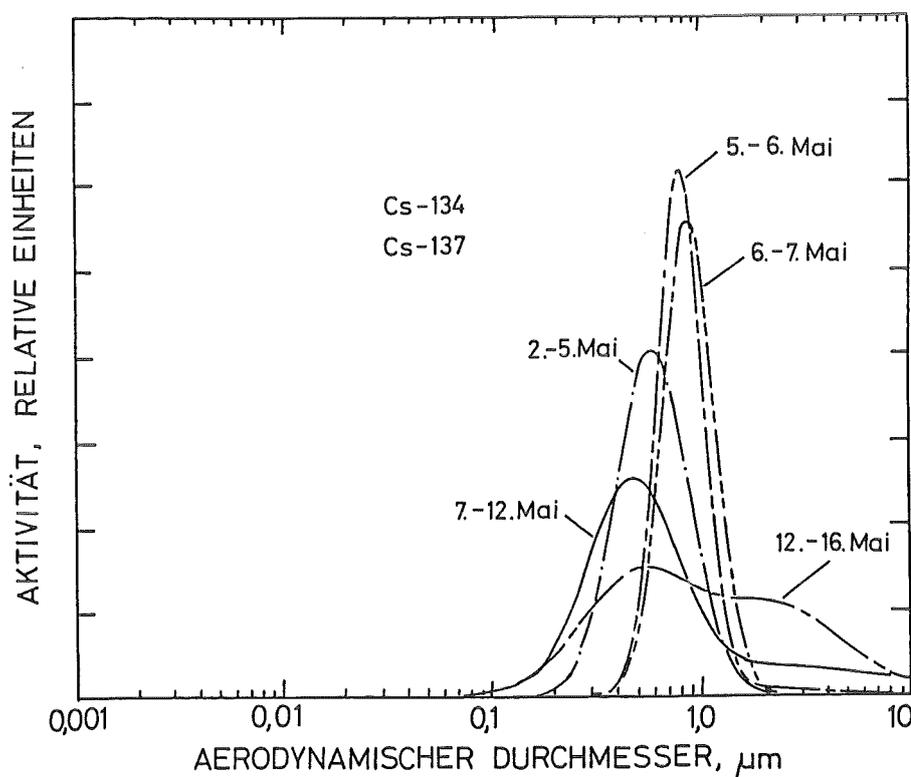


Abb. 8/2: Aerosolgrößenverteilung in der Umgebungsluft des KfK für Cs-134 und Cs-137

Neben der Inhalation bewirkt die Direktstrahlung aus der vorbeiziehenden radioaktiven "Wolke" einen Dosisbeitrag durch die sogenannte "γ-Submersion". Dieser Beitrag wurde für die dosisrelevanten Radionuklide I-131, Cs-134 und Cs-137 unter Verwendung von Tab. 8/3 und der in Tab. 8/4 angegebenen Dosisfaktoren abgeschätzt. Das Ergebnis ist in Tab. 8/6 wiedergegeben. Auch hier liefert das I-131 den höchsten Anteil. Insgesamt ist die γ-Submersiondosis mit 0,2 μSv (0,02 mrem) im Vergleich zu den Beiträgen der übrigen Expositionspfade vergleichsweise gering und damit vernachlässigbar. Überdies wurde sie bei der Dosisleistungsmessung miteinbezogen.

Radionuklid	Dosisbeitrag			
	Erwachsene		Kleinkinder	
	μSv	%	μSv	%
Sr-89	0,1	0,4	0,1	0,4
Sr-90	0,5	2,2	0,5	1,6
Ru-103	0,6	2,5	0,5	1,8
Ru-106	5,4	25	6,8	24
Te/I-132	2,0	9,1	5,5	19
Te-129m	1,0	4,5	1,4	4,8
I-131	9,1	42	13,4	47
Cs-134	1,4	6,3	0,1	0,5
Cs-137	1,7	8,0	0,2	0,8
Summendosis, rd.	22		29	

Tab. 8/5: Dosisbeiträge zur Inhalation

Radionuklid	Dosisfaktor (Sv/d/Bq/m <sup>3</sup> )	Dosis (μSv)
I-131	2,2·10 <sup>-9</sup>	0,11
Cs-134	9,6·10 <sup>-9</sup>	0,05
Cs-137	3,8·10 <sup>-9</sup>	0,04
Summe		0,2

Tab. 8/6: Dosisbeiträge durch γ-Submersion

Nach der  $\gamma$ -spektrometrischen Messung der Luftstaubfilter wurden diese auf die wichtigsten Aktiniden- und Strontium-Isotope analysiert. Die gemessene deutliche Erhöhung der Aktinidenkonzentration war bezüglich der Strahlenexposition vernachlässigbar klein. Die Sr-90-Aktivitätskonzentrationen sind zwar wesentlich höher als die des aktuellen Kernwaffenfallouts, aber der Anteil der Sr-90 (8 bis 22%) an der Gesamtbetaaktivität der Sr-Isotope ist sehr gering.

#### 8.1.4 Künstliche Radioaktivität in der Nahrungskette

##### 8.1.4.1 Futtermittel

Da für Radioiod und Radiocäsium der Weide-Kuh-Milch-Pfad eine der wichtigsten Dosisexpositionen der Umgebungsbevölkerung darstellt, wurden an mehreren Stellen systematisch, d. h. zu verschiedenen Zeiten an ein und derselben Stelle Futtermittelproben genommen. Die Veränderung der I-131-, Te-132-, Cs-137- und Cs-134-Aktivität in Gras von Neuthard bezogen auf die Probenahmefläche wird in den Abb. 8/3 und 8/4 wiedergegeben.

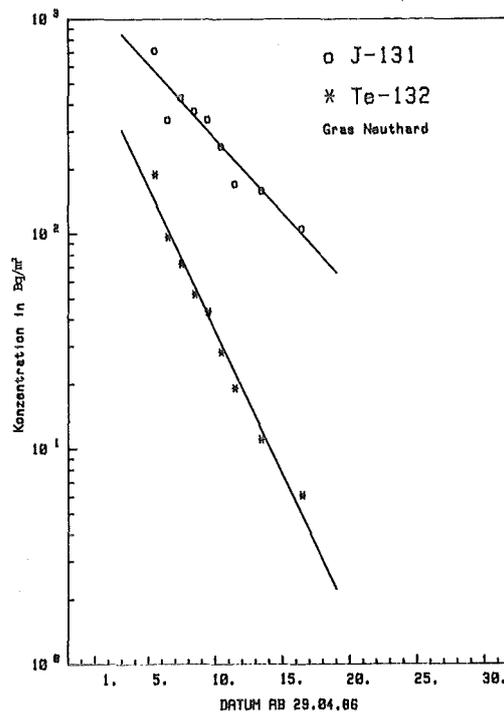


Abb. 8/3: I-131- und Te-132-Ablagerung auf Gras aus Neuthard

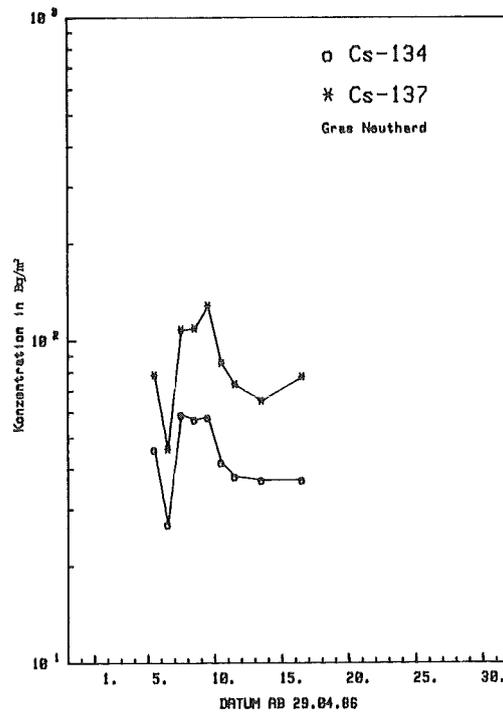


Abb. 8/4: Cs-134- und Cs-137-Ablagerung auf Gras aus Neuthard

#### 8.1.4.2 Milch

Da Iod und Radiocäsium mit relativ hohen Transferfaktoren vom Futter in die Milch überführt werden und da Radioiod in wenigen Tagen in der Milch einen maximalen Wert erreicht - Radiocäsium benötigt dazu etwas länger-, erfolgte praktisch sofort nach dem Durchzug der Aktivitätswolke des Reaktorunfalls von Tschernobyl eine systematische und ausgedehnte Überwachung der Radioaktivität in Milchproben.

Um den ungünstigsten Fall zu studieren, wurden vom Bauern H., Spöck, gelieferte Milchproben täglich auf Radioiod und Radiocäsium ausgemessen; Bauer H. fütterte bereits vor dem Durchgang der Wolke seine Milchkühe mit Frischfutter und hat dies während der gesamten Probenahmezeit fortgesetzt.

Als wesentliche Versorgungsquellen der Bevölkerung mit Milch sind die Milchzentralen der verschiedenen Großstädte anzusehen. Daher wurden Milchproben der Milchzentrale Karlsruhe täglich auf Radioiod und Radiocäsium ausgemessen. In den Milchproben der Milchzentralen Mannheim und Pforzheim wurden vor allem I-131-Bestimmungen durchgeführt; zu einem späteren Zeitpunkt begann auch die Überwachung auf Cs-134 und Cs-137. Die Ergebnisse der Milchzentrale Karlsruhe und des Bauern in Spöck werden in den Abbn. 8/5 bis 8/8 wiedergegeben.

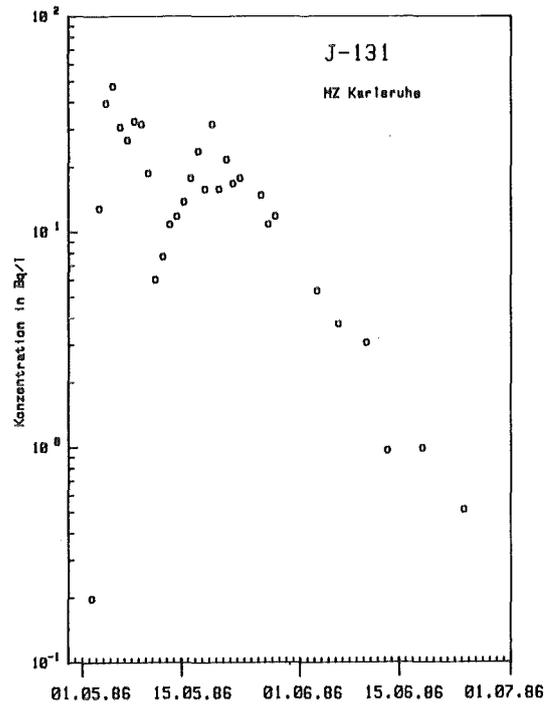


Abb. 8/5: I-131-Aktivitätskonzentration in Milchproben aus der Milchzentrale Karlsruhe in Abhängigkeit vom Probenahmedatum

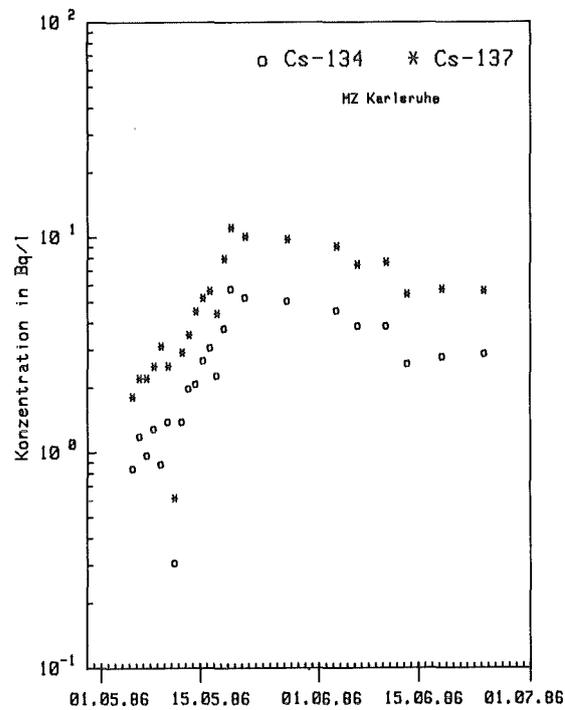


Abb. 8/6: Cs-134- und Cs-137-Aktivitätskonzentration in Milchproben aus der Milchzentrale Karlsruhe in Abhängigkeit vom Probenahmedatum

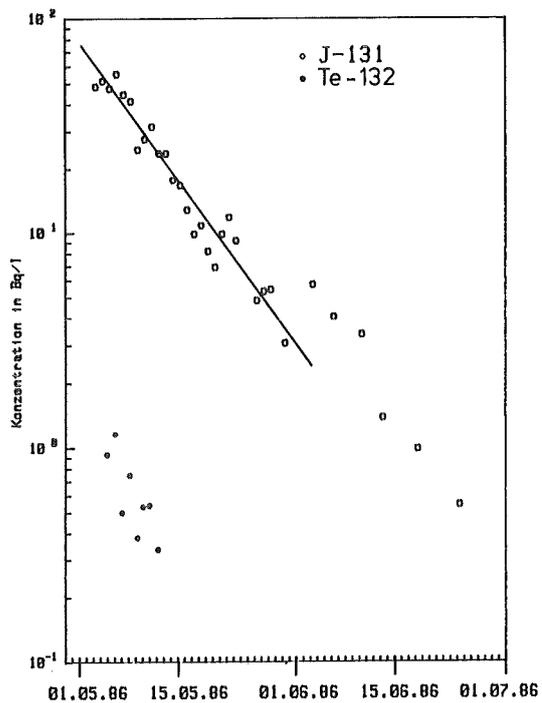


Abb. 8/7: I-131- und Te-132-Aktivitätskonzentration in Milchproben in Abhängigkeit vom Probenahmedatum, Bauer II., Spöck

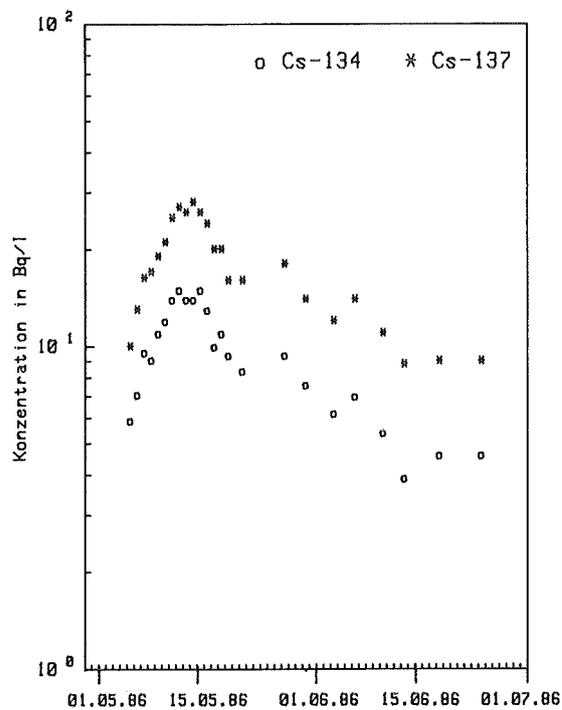


Abb. 8/8: Cs-134- und Cs-137-Aktivitätskonzentration in Milchproben in Abhängigkeit vom Probenahmedatum, Bauer H., Spöck

8.1.4.3 Verschiedene Lebensmittel

In den Tabn. 8/7 bis 8/13 werden die Aktivitätskonzentrationen verschiedener Lebensmittel, mit Ausnahme von Milch, der Monate Mai bis November 1986 wiedergegeben. Es werden jeweils Maximum, Minimum, Probenart, Probenahmeort und Zahl der Proben angegeben. Insgesamt wurden nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl bis Ende November 1986 ungefähr zusätzliche 340 Lebensmittelproben (außer Milch- und Wasserproben) gemessen. Die größten Anteile dieser Proben stellten Fleisch, Blattgemüse und Pilze.

Aktivitätskonzentration in Bq/kg [Monat: Mai]						
Probenart/ Zahl der Proben		Ru-103	Te-132	I-131	Cs-134	Cs-137
Fleisch 39	Minimum Rindfleisch Rottweil	-	-	<0,71	-	<1,2
	Maximum Rehfleisch Ravensburg	-	-	610 ± 200	2000 ± 400	3700 ± 500
Blattgemüse 59	Minimum Rhabarber Heidelsheim	<0,90	-	2,5 ± 1,9	-	<1,2
	Maximum Eichblatt- Salatpfl. Gerstetten	-	270 ± 32	1400 ± 70	190 ± 40	320 ± 50
Kräuter 38	Minimum Schnittlauch Weingarten	-	-	14 ± 8	-	<2,5
	Maximum Petersilie Aalen	-	210 ± 40	1600 ± 90	310 ± 60	520 ± 70
Wurzel- gemüse 15	Minimum Spargel Spöck	-	-	<1,6	-	<2,0
	Maximum Lauchsetzl. Sontheim	-	400 ± 40	1800 ± 100	350 ± 70	510 ± 70
Pilze 6	Minimum Mischpilze Hardtwald	-	-	-	-	4,0 ± 2,6
	Maximum Mischpilze Crailsheim	-	-	-	43 ± 26	90 ± 31

Tab. 8/7: Aktivitätskonzentration verschiedener Lebensmittel im Mai

Aktivitätskonzentration in Bq/kg [Monat: Juni]				
Probenart/ Zahl der Proben		Ru-103	Cs-134	Cs-137
Fleisch 11	Minimum Rinderleber Walldorf	-	-	<0,9
	Maximum Hirschinnereien Menzenschwand	-	240 ± 40	570 ± 70
Blattgemüse 2	Minimum Kopfsalat Eggenstein	-	0,11 ± 0,04	0,25 ± 0,06
	Maximum Weißkohl Eggenstein	-	0,15 ± 0,04	0,34 ± 0,06
Wurzel- gemüse 2	Minimum Spargel Eggenstein	-	0,11 ± 0,06	0,27 ± 0,06
	Maximum Spargel Friedrichstal	0,13 ± 0,05	0,45 ± 0,04	2,5 ± 0,1
Obst + Beeren 2	Minimum Erdbeeren Eggenstein	-	-	2,0 ± 1,1
	Maximum Kirschen Leopoldshafen	-	9,0 ± 1,6	17 ± 2
Pilze 6	Minimum Steinpilze Hardtwald	1,38 ± 1,03	0,95 ± 0,87	4,1 ± 1,6
	Maximum Mischpilze Hardtwald	-	34 ± 5	84 ± 10

Tab. 8/8: Aktivitätskonzentration verschiedener Lebensmittel im Juni

Aktivitätskonzentration in Bq/kg [Monat: Juli]				
Probenart/ Zahl der Proben		I-131	Cs-134	Cs-137
Fleisch 18	Minimum Rindfleisch Schwäbisch Hall	-	-	2,9 ± 2,0
	Maximum Rehkopf Menzenschwand	9,3 ± 8,4	95 ± 17	200 ± 20
Blattgemüse 7	Minimum Eichblattsalat Gochsheim	-	-	< 0,95
	Maximum Salat Ispringen	-	< 8,2	< 7,9
Kräuter 2	Minimum Keine näh. Angaben Ispringen	-	< 6,5	< 5,4
	Maximum Thymian Linkenheim	-	-	15 ± 4
Wurzel- gemüse 8	Minimum Kartoffeln Ispringen	-	< 0,77	< 0,73
	Maximum Sellerie Ispringen	-	< 14	< 15
Obst + Beeren 9	Minimum Himbeeren Eggenstein	-	4,5 ± 2,7	8,8 ± 2,9
	Maximum Schw. Johannisbeeren Gochsheim	-	43 ± 14	61 ± 14
Pilze 9	Minimum Steinpilze Hardtwald	-	< 1,5	4,9 ± 2,5
	Maximum Pfifferlinge Menzenschwand	-	70 ± 25	130 ± 30

Tab. 8/9: Aktivitätskonzentration verschiedener Lebensmittel im Juli

Aktivitätskonzentration in Bq/kg [Monat: August]				
Probenart/ Zahl der Proben		Ru-103	Cs-134	Cs-137
Fleisch 18	Minimum Rinderleber Göppingen	-	<0,59	0,86 ± 0,65
	Maximum Rinderleber Unbekannt	-	39 ± 3	75 ± 3
Blatt- gemüse 2	Minimum Rotkohl Eggenstein	-	0,18 ± 0,07	0,34 ± 0,08
	Maximum Mangold Gochsheim	-	<2,7	<2,7
Wurzel- gemüse 8	Minimum Karotten Friedrichstal	-	0,041 ± 0,029	0,057 ± 0,030
	Maximum Lauch Gochsheim	-	<3,6	<4,0
Obst + Beeren 2	Minimum Pflaumen Gochsheim	-	5,0 ± 3,3	8,6 ± 3,6
	Maximum Pflirsiche Leopoldshafen	-	5,6 ± 1,5	10 ± 3
Pilze 4	Minimum Mischpilze Hardtwald	-	2,7 ± 2,3	12 ± 4
	Maximum Keine näh. Angaben Menzenschwand	-	-	62 ± 9
Getreide 8	Minimum Weizen Gochsheim	-	-	0,70 ± 0,52
	Maximum Roggen Eggenstein	0,18 ± 0,15	26 ± 1	55 ± 1

Tab. 8/10 Aktivitätskonzentration verschiedener Lebensmittel im August

Aktivitätskonzentration in Bq/kg [Monat: September]			
Probenart/ Zahl der Proben		Cs-134	Cs-137
Fleisch 2	Minimum Hirschragout, Spanien Maximum Wildente, Ubstadt-Weiher	- 2,1 ± 1,0	<0,37 4,1 ± 1,5
Blattgemüse 9	Minimum Weißkohl, Friedrichstal Maximum Spinat, Gochsheim	<0,053 <3,3	<0,03 <3,2
Kräuter 1	Maximum Petersilie, Gochsheim	-	<0,92
Wurzel-gemüse 5	Minimum Kartoffeln, Friedrichstal Maximum Rüben, Gochsheim	<0,055 <2,2	<0,051 <2,2
Obst + Beeren 1	Maximum Holunder, Rheinhausen	16 ± 7	31 ± 7
Pilze 13	Minimum Parasole, Hardtwald Maximum Rotfußröhrlinge, Hardtwald	<0,30 54 ± 4	<0,30 130 ± 10
Getreide 2	Minimum Weizen, Friedrichstal Maximum Roggen, Friedrichstal	1,1 ± 0,3 12 ± 0,6	2,2 ± 0,3 24 ± 1
Nüsse 4	Minimum Mandeln, Bari Maximum Haselnüsse, Levante	16 ± 3 110 ± 10	34 ± 5 230 ± 10

Tab. 8/11: Aktivitätskonzentration verschiedener Lebensmittel im September

Aktivitätskonzentration in Bq/kg [Monat: Oktober]			
Probenart/ Zahl der Proben		Cs-134	Cs-137
Blattgemüse 2	Minimum Fenchel, Gochsheim	<0,96	<0,95
	Maximum Salat, Gochsheim	<1,9	<2,2
Pilze 10	Minimum Birkenpilze, Hardtwald	<4,9	5,7 ± 4,1
	Maximum Maronen, Fichtelgebirge	680 ± 10	1600 ± 20
Nüsse 7	Minimum Haselnüsse, Levante	<0,39	0,93 ± 0,4
	Maximum Haselnüsse, Neapel	140 ± 10	310 ± 10

Tab. 8/12: Aktivitätskonzentration verschiedener Lebensmittel im Oktober

Aktivitätskonzentration in Bq/kg [Monat: November]			
Probenart/ Zahl der Proben		Cs-134	Cs-137
Pilze 6	Minimum Mischpilze, Hardtwald	6,6 ± 2,1	15 ± 5
	Maximum Maronen, Hardtwald	49 ± 12	220 ± 20
Nüsse 7	Minimum Mandeln, Bari	6,8 ± 1,6	19 ± 3
	Maximum Haselnüsse, Levante	160 ± 10	400 ± 10

Tab. 8/13: Aktivitätskonzentration verschiedener Lebensmittel im November

#### 8.1.4.4 Dosisexposition durch Ingestion im ersten Jahr nach dem Reaktorunfall

Die für die Dosisexpositionsberechnungen benutzten Meßwerte wurden im KfK-4115 publiziert. Zur Berechnung der Dosisexposition durch Ingestion wurden Milch, Blattgemüse und Fleisch berücksichtigt, für den Extremfall zusätzlich Obst, Beeren und Pilze.

Für Milch wurden die Daten des Bauern II., Spöck, benutzt. Die Maximalwerte betragen 60 Bq I-131/l, 30 Bq Cs-137/l und 15 Bq Cs-134/l. Das Maximum der I-131-Konzentration wurde nach zwei Tagen und das der Cs-137- bzw. Cs-134-Konzentration nach 14 Tagen erreicht. Als effektive Halbwertszeiten für den Abbau der I-131-Konzentration wurden 6 d gemessen. Die entsprechende effektive Halbwertszeit für die Cäsiumisotope beträgt 25 d.

Die Anzahl der Meßwerte für Rind-, Schweine- und Kalbfleisch ist gering. Der Mittelwert für Rindfleisch beträgt 13 Bq Cs-137/kg. Die I-131-Konzentrationen sind noch problematischer. Daher wurde entschieden, die Tatsache zu nutzen, daß der Futter-Fleisch-Transfer für Iod und Cäsium um den Faktor 3 kleiner ist als der Futter-Milch-Transfer. Es wurden daher für die Berechnungen für Kinder und Erwachsene 20 Bq I-131/kg, 10 Bq Cs-137/kg und 5 Bq Cs-134/kg angesetzt. Für Wildfleisch lagen noch weniger Meßwerte vor. Für die Dosisberechnungen wurden 180 Bq I-131/kg, 112 Bq Cs-137/kg und 66 Bq Cs-134/kg entsprechend den Meßwerte von Rehfleisch aus Mörsch angesetzt. Für die effektiven Halbwertszeiten in Fleisch wurden die gleichen Werte wie für Milch angesetzt.

In Salat wurden 200 Bq I-131/kg, 50 Bq Cs-137/kg und 25 Bq Cs-134/kg gefunden. In Spinat waren es 1500 Bq I-131/kg, 140 Bq Cs-137/kg und 70 Bq Cs-134/kg. Als Mittelwert dieser Ergebnisse wurden 850 Bq I-131/kg Gemüse, 95 Bq Cs-137/kg Gemüse und 47,5 Bq Cs-134/kg als Basis für die Dosisberechnungen angesetzt. Die effektiven Halbwertszeiten von I-131 und Radiocäsium auf Gemüse wurden mit 6 d für I-131 und 25 d für Radiocäsium angesetzt.

Für Pilze wurden bis Ende Oktober 1986 als Mittelwert 60 Bq Cs-137/kg und 30 Bq Cs-134/kg gemessen. Als grobe Mittelwerte für heimische Beeren und Obst wurden 30 Bq Cs-137/kg und 15 Bq Cs-134/kg angesetzt.

Neben den Radionukliden I-131, Cs-137 und Cs-134 sind die anderen Radionuklide entweder von untergeordneter Bedeutung, weil ihre Konzentration in der Umwelt zu niedrig war oder weil ihr Transfer in die Nahrungsmittel vernachlässigbar klein ist.

Die Effektivdosisfaktoren für Ingestion wurden aus Tab. 8/4 entnommen. Bei der Dosisberechnung wurde ein linearer Anstieg der I-131-Konzentration in Milch, Fleisch und Gemüse über zwei Tage und für Radiocäsium über 14 Tage angesetzt. Danach wurde für die verzehrten Nahrungsmittel eine exponentielle Abnahme mit den effektiven Halbwertszeiten von 6 Tagen für I-131 und von 25 Tagen für Radiocäsium angesetzt. Da ab Mitte November 1986 die Verfütterung der im Frühling kontaminierten und geernteten Futtermittel beginnen wird, wurde für Radiocäsium ein zweiter gleichartiger Konzentrationsaufbau und -abbau beginnend mit 15. November 1986 angenommen, wie er in der Milch im Frühling beobachtet wurde. Auch für Fleisch wurde "ein zweiter Peak" berücksichtigt.

Für Pilze und Obst plus Beeren wurden konstante Konzentrationen für Radiocäsium angesetzt. Sie entsprechen den Mittelwerten, die bisher für diese Produkte gemessen wurden.

In Tab. 8/14 sind die Nahrungsmittelmengen angeführt, welche von einem einjährigen Kind, dem männlichen Erwachsenen und vom "Extremfall" verzehrt werden. Die Werte für den Erwachsenen wurden aus dem Ernährungsbericht 1976 (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V., Frankfurt/Main, 1976) entnommen.

Für den "Extremfall" wurden zusätzlich der wöchentliche Verzehr von 0,5 kg Pilzen und ein Jahresverzehr von Beeren und Obst von 32 kg angenommen. Die 32 kg sind die Summe aller Beeren und heimischen Obstarten, die im Ernährungsbericht angegeben werden. Außerdem sind einbezogen Marmeladen, tiefgekühltes und getrocknetes Obst.

Nahrungsmittel	Verzehrrate in kg/a		
	einjähriges Kind	männlicher Erwachsener	"Extremfall"
Milch	300	102	102
Fleisch	0	75	75
Blattgemüse	0	15	15
Obst, Beeren	0	0	32
Pilze	0	0	26

Tab. 8/14: Verzehrraten, die bei den Dosisberechnungen zur Ingestionsdosis angesetzt wurden (KfK 4140, Tab. 6)

In Tab. 8/15 werden die insgesamt aufgenommenen Aktivitäten von I-131, Cs-137 und Cs-134 durch die beschriebenen Nahrungsmittel angegeben.

	Aufgenommene Aktivität in Bq		
	I-131	Cs-137	Cs-134
<b>Einjähriges Kind</b>			
Milch	478	2111	1056
Fleisch	-	-	-
Blattgemüse	-	-	-
Summe	478	2111	1056
<b>Männlicher Erwachsener</b>			
Milch	163	718	359
Fleisch	40	176	88
Blattgemüse	340	145	73
Summe	543	1039	520
<b>"Extremfall"</b>			
Milch	163	718	359
Fleisch	360	1971	986
Blattgemüse	340	145	73
Pilze	-	1560	780
Obst, Beeren	-	960	480
Summe	863	5354	2678

Tab. 8/15: Ingestion von I-131, Cs-137 und Cs-134 mit Milch, Fleisch, Pilzen, Beeren und Obst für das erste Jahr nach dem Reaktorunfall (KfK 4140, Tab. 7)

Die Effektivdosisexposition durch Ingestion der beschriebenen Nahrungsmittel wird in Tab. 8/16 wiedergegeben.

Nuklid	Effektivdosis in $\mu\text{Sv}$		
	einjähriges Kind	männlicher Erwachsener	"Extremfall"
I-131	53	7	11
Cs-137	20	15	75
Cs-134	13	10	54
<b>Summe</b>	<b>86</b>	<b>32</b>	<b>140</b>

Tab. 8/16: Effektivdosisexposition durch Ingestion von Milch, Fleisch, Blattgemüse, Pilzen, Beeren und Obst für das erste Jahr nach dem Reaktorunfall (KfK 4140, Tab. 8)

### 8.1.5 Abschätzung der äußeren $\gamma$ -Strahlenexposition für den Zeitraum 1 bis 50 Jahre nach dem Reaktorunfall

Die äußere  $\gamma$ -Strahlenexposition im Zeitraum 1 bis 50 Jahre nach dem Reaktorunfall ist im wesentlichen durch Cs-134 und Cs-137 bedingt. Ausgehend von dem gemessenen Isotopenverhältnis erhält man für den Fall des ungeschützten Daueraufenthaltes eine Gesamtdosis von 0,55 mSv. Nicht berücksichtigt ist, daß die Radioaktivität langsam in den Boden eindringt, was zu einer Dosisverminderung führt. Üblicherweise geht man davon aus, daß der Mensch sich 4 h außerhalb von Gebäuden aufhält. Man erhält daher ca. 0,09 mSv.

Im Bereich der Bundesrepublik Deutschland liegt der Mittelwert der natürlichen Strahlung bei 2,25 mSv/a, also bei 110 mSv in 49 Jahren. Der abgeschätzte Wert von 0,55 mSv liegt also bei 0,5 % der natürlichen Strahlenexposition und damit bei einem vergleichbaren Bruchteil von dessen Schwankungsbreite. Er ist überdies nicht meßbar, da er bei weitem nicht die Nachweisgrenze von mindestens 2 mSv pro 50 Jahre der geeigneten Meßsysteme erreicht.

### 8.1.6 Dosisabschätzung für den Zeitraum von 1 - 50 Jahre nach dem Reaktorunfall über die Nahrung

Während im ersten Jahr nach dem Reaktorunfall die Aktivitätsaufnahme über die Nahrung hauptsächlich durch die direkte Kontamination aus der Luft bestimmt war, gelangt die Aktivität in den folgenden Jahren praktisch nur noch über die Wurzeln von Pflanzen in die Nahrung. Der Beitrag durch Kontamination über die Resuspension kann für in der Bundesrepublik Deutschland erzeugte Lebensmittel vernachlässigt werden.

In Tab. 8/17 sind die bei der Dosisabschätzung benutzten Ausgangsdaten für den Boden zusammengestellt. In die Tabelle wurden nur jene beteiligten Radionuklide aufgenommen, deren Halbwertszeit groß genug ist, um einen Beitrag zur Strahlenexposition zu liefern. Entsprechend der "Allgemeinen Berechnungsgrundlage" wurde mit einer Massenbelegung des Bodens in Pflugschartiefe von 240 kg/m<sup>2</sup> (trockener Boden) gerechnet. Eingesetzt wurden in der weiteren Umgebung von Karlsruhe gefundene Höchstwerte.

Nuklid	Bq/m <sup>2</sup>	Bq/kg <sup>1</sup>
Sr-90	50 <sup>2</sup>	0,21
Ru-106	550 <sup>3</sup>	2,29
Cs-134	2400 <sup>4</sup>	10,0
Cs-137	4600 <sup>4</sup>	19,2

- 1 Division der voranstehenden Spalte durch 240 kg/m<sup>2</sup> gemäß "Allgemeiner Berechnungsgrundlage"
- 2 Geschätzt auf der Grundlage des Sr-90/Cs-137-Verhältnisses in Luft
- 3 Geschätzt auf der Grundlage des Ru-103/Ru-106-Verhältnisses in Luft
- 4 Werte für Heidelberg bei Bruchsal

Tab. 8/17: Annahmen über die Bodenkontamination zur Dosisabschätzung

Die Ausgangsdaten enthalten eine gewisse Willkür, deren man sich bei der Interpretation der Ergebnisse bewußt sein muß.

Die in der "Allgemeinen Berechnungsgrundlage" angenommenen Ernährungsgewohnheiten sind in Tab. 8/18 angegeben. Für die Rechnung wurde angenommen, daß es sich bei dem Fleisch ausschließlich um Rindfleisch handelt. Da keine vom Reaktorunfall stammende Aktivität in das Trinkwasser gelangte, war dessen Konsum nicht zu berücksichtigen.

	kg/a
Pflanzliche Produkte	231
Fleisch und Fleischwaren	75
Milch und Milchprodukte	110

Tab. 8/18: Ernährungsgewohnheiten

Die sich aus der Rechnung mit den Parameterwerten aus der "Allgemeinen Berechnungsgrundlage" ergebende Aktivitätsaufnahme ist in Tab. 8/19 zusammengestellt. Man sieht sofort, daß Cs-137 das vorherrschende Radionuklid darstellt. Zum Vergleich sei daran erinnert, daß die mittlere Aktivitätsaufnahme nach den Kernwaffenversuchen in der Bundesrepublik Deutschland bis einschließlich 1983 insgesamt 13 300 Bq betrug. Der Tagesbedarf des Menschen an Kalium beträgt 2 - 3 g. Dies bedeutet eine Aktivitätszufuhr von 23 - 34 kBq K-40 pro Jahr bzw. 1,1 - 1,7 MBq K-40 in 49 Jahren.

Die sich aus der Aktivitätsaufnahme I ergebende Strahlenexposition ist in Tab. 8/20 angegeben. Der für die Effektivdosis berechnete Wert beträgt insgesamt 140 µSv (14 mrem), ist also gegenüber der natürlichen Strahlenexposition völlig zu vernachlässigen. Insofern ist eine Diskussion über die beschränkte Genauigkeit dieser Abschätzung unnötig.

	Pflanzliche Produkte	Fleisch und Fleischwaren*	Milch und Milchprodukte	Summe
Sr-90	256	3	5	264
Ru-106	4	28	-	32
Cs-134	245	18	77	340
Cs-137	6373	455	2003	8831

\* Als Fleisch wurde ausschließlich Rindfleisch angenommen

Tab. 8/19: Aktivitätsaufnahme in 50 Jahren nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl, ausgenommen das erste Jahr, in Bq

Nuklid	I in Bq	D <sub>eff</sub> in µSv
Sr-90	264	9,2
Ru-106	32	0,2
Cs-134	340	6,8
Cs-137	8831	123,6
Summe		139,8

Tab. 8/20: Effektivdosis durch Ingestion

In Tab. 8/17 waren die höchsten, in der weiteren Umgebung von Karlsruhe gefundenen Werte eingesetzt worden. Insofern darf man davon ausgehen, daß die mittlere Strahlenexposition für den Raum erheblich geringer als der in Tab. 8/20 angegebene, ohnehin schon gegenüber natürlicher Strahlenexposition zu vernachlässigende Wert ausfallen wird.

#### 8.1.7 Gesamte Strahlenexposition durch den Reaktorunfall von Tschernobyl und ihre Bewertung

In Tab. 8/21 sind die Dosisangaben aus den vorausstehenden Kapiteln 8.1.2 - 8.1.5 zusammengefaßt. Man erhält im Laufe von 50 Jahren insgesamt ca. 0,21 mSv, d. h. etwa die Hälfte der mittleren terrestrischen Strahlenexposition eines Jahres bzw. ca. 0,2 % der gesamten natürlichen Strahlenexposition in 50 Jahren (2,25 mSv/a bzw. 112,5 mSv/50 a). Obwohl die hier vorgelegten Zahlen bereits die Einstufung der Strahlenbelastung im Raum Karlsruhe durch den Reaktorunfall von Tschernobyl als radiologisch irrelevant ausweisen, sei auf folgenden Sachverhalt hingewiesen: Vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl waren Boden und Nahrungsmittel keineswegs frei von künstlichen Radionukliden. Meßwerte hierzu wurden vom Bundesminister des Innern regelmäßig berichtet. Aus dem Jahresbericht 1983 - dies ist der jüngste dieser Jahresberichte, der bei der Abfassung dieses Beitrags zur Verfügung stand - sind in den Tabn. 8/22 und 8/23 einige willkürlich ausgewählte Cs-137-Meßwerte für Böden und Lebensmittel zusammengestellt. Demselben Bericht entnommene Werte aus den Jahren 1961 - 1963 sind in Tab. 8/24 zusammengestellt. Alle diese Daten aus dem BMI-Jahresbericht dürften nicht für die Situation in der Bundesrepublik Deutschland repräsentativ sein. Sie liefern aber zumindest einen Maßstab zur Bewertung des Reaktorunfalls. Zu beachten ist außerdem die natürliche K-40-Aktivität, die sowohl im Boden und in Lebensmitteln nachzuweisen ist. Hierzu gibt Tab. 8/25 einige Informationen, die ebenfalls dem genannten Jahresbericht entnommen sind.

Expositionspfad	Exposition in $\mu\text{Sv}$		Summe
	1. Jahr	2. - 50. Jahr	
Externe Strahlung	14	0,31	14
Inhalation	22	-	22
Ingestion	32	140	172
Summe	68	140	208

Tab. 8/21: Gesamtstrahlenexposition von Erwachsenen durch den Reaktorunfall von Tschernobyl in  $\mu\text{Sv}$  für den Raum Karlsruhe

Bodenart	Tiefe in cm	Bq Cs-137/kg Tr
Weide (72) (kultiviertes Hochmoor)	0 - 5	102,0
	5 - 10	44,4
	10 - 20	9,9
Ödland (72) (Heidepodsol)	0 - 5	75,9
	5 - 10	57,9
	10 - 20	8,6
Weide (72) (Heidepodsol)	0 - 5	9,8
	5 - 10	9,1
	10 - 20	7,3
Acker (72) (Heidepodsol)	0 - 20	10,1
KfK (73)		11,9*
KKP (73)		8,2*

( ) Seitenangabe, \* Mittelwert, KfK: Nähere Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe, KKP: Nähere Umgebung des Kernkraftwerks Philippsburg

Tab. 8/22: Cs-137 im Boden nach dem Jahresbericht 1983 des Bundesministeriums des Innern

Einheit	Lebensmittel	Maximum	Minimum	Mittelwert
Bq/l	Milch (189)	0,89	0,01	< 0,15
Getreide Bq/kg FM	Weizen (210) Bq/kg FM (HH)	0,47	0,38	0,42
	Roggen (210) Bq/kg FM	0,59	0,13	0,33
Fleisch Bq/kg FM	Rind (211, NW)	1,50	0,18	0,54
	Kalb (211; NW)	3,40	0,55	1,50
	Schwein (212; NS)	1,20	< 0,074	0,37
	Reh (213)	21,0	2,8	14,0
	Wildschwein (213)	48,0	2,5	21,0
Gemüse Bq/kg FM	Weißkohl (215)	0,40	< 0,18	0,26
	Sellerie (215)	0,09	< 0,037	0,05
	Grünkohl (215)	< 0,37	< 0,037	0,17
Pilze Bq/kg FM	Maronen (216)	220	110	170
	Steinpilze (216)	EP	EP	82

EP: Einzelprobe; FM: Feuchtmasse; HH: Hamburg; NS: Niedersachsen;  
NW: Nordrhein-Westfalen; ( ): Seitenangabe

Tab. 8/23: Cs-137 in Nahrungsmitteln 1983 nach dem Jahresbericht 1983 des Bundesministers des Innern

Nahrungsmittel	Cs-137-Gehalt in Bq/kg Feuchtmasse	Jahr
Weizen	21	1964
Kartoffeln	5,6	1961
Rindfleisch	36	1964
Kalbfleisch	39	1964
Schweinefleisch	27	1964
Milch*	~ 10	1963

\*Monatsmittelwert nach S. 187 des genannten Berichtes in Bq/l

Tab. 8/24: Cs-137-Gehalt ausgewählter Nahrungsmittel. Maximalwerte aus Tab. 16, S. 218 des BMI-Jahresberichtes 1983 "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung"

Nahrungsmittel	
Pflanzliche Nahrungsmittel	
Weizen	97 - 130
Kartoffeln	80 - 140
Karotten	80 - 140
Fleisch	
Rind	92
Schwein	100
Milch	25 - 90
Mensch	
Männer	
Frauen	56

Tab. 8/25: K-40 in Lebensmitteln und im Menschen in Bq/kg

## 8.2 Ergebnisse der von der Abteilung "Dosimetrie" ausgeführten Inkorporationsmessungen

H. Doerfel

### 8.2.1 Rückreisende aus der UdSSR

Noch vor der radioaktiven Wolke trafen bereits am 29.04.86 die ersten stark kontaminierten Personen aus der Gegend von Tschernobyl in der Bundesrepublik ein. Es handelte sich dabei zum größten Teil um Mitarbeiter deutscher Firmen, die erst unterwegs bzw. nach Ankunft in der Bundesrepublik von dem Unfall erfuhren. So fuhr eine dieser Personen mit einem Firmenwagen in der Nacht vom 28. zum 29.04.86 von Mozyr (ca. 100 km nordwestlich von Tschernobyl) zum Flughafen nach Kiew (ca. 80 km südöstlich von Tschernobyl). Wegen der zahlreichen Absperrungen mußte der Fahrer auf unbekannte Feldwege ausweichen und geriet dabei offenbar nahe Tschernobyl in hochkontaminiertes Gelände. Die betreffende Person war danach so hoch kontaminiert, daß sämtliche Kontaminationsgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung um ein Vielfaches überschritten wurden.

Am 30.04.86 wurden die ersten Rückreisenden im Ganzkörperzähler von HS/D untersucht. Diese Untersuchungen ergaben I-131-Körperaktivitäten in der Größenordnung von 10 kBq. Daneben wurden erhebliche Aktivitäten von Te-132 und I-132 festgestellt. Weitere Nuklide konnten zunächst nicht identifiziert werden, da die Gamma-Strahlung der Iod-Isotope alle weiteren Gamma-Linien maskierte. Am 30.04.86 wurden auch die ersten gammaspektroskopischen Untersuchungen der kontaminierten Kleidung der Rückreisenden durchgeführt. Diese Untersuchungen ergaben erste Aufschlüsse über die Zusammensetzung des inkorporierten Nuklidgemischs. Damit konnten erste Abschätzungen der gesamten inhalationsbedingten Aktivitätszufuhren bzw. der daraus resultierenden effektiven Folgeäquivalentdosen vorgenommen werden. Diese Abschätzungen bei den am 30.04.86 untersuchten Personen zu Erwartungswerten in der Größenordnung von 1 mSv.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurde von KfK an die betreffenden Firmen die Empfehlung ausgegeben, alle deutschen Mitarbeiter und deren Familien bis zu einer genaueren Klärung der Expositionsbedingungen in der UdSSR zu evakuieren. Der größte Teil der in den folgenden Tagen evakuierten Personen wurde zwischen dem 01. und dem 03.05.86 im Ganzkörperzähler von HS/D untersucht. Vor der Messung im Ganzkörperzähler wurden die Personen in der Medizinischen Abteilung des Kernforschungszentrums auf äußere Kontaminationen untersucht und gegebenenfalls dekontaminiert. Bei den meisten Personen lag allerdings auch nach dieser Behandlung noch eine äußere Restkontamination vor. Diese Restkontamination wurde bei der Auswertung der inkorporierten Aktivität zugeschlagen. Dadurch wurde eine konservative Abschätzung der Dosis gewährleistet.

Die Abb. 8/9 und 8/10 zeigen als Beispiel die aus den Messungen im Ganzkörperzähler resultierenden Folgeäquivalentdosen von I-131 in der Schilddrüse für Personen, die am 01. und am 02.05.86 aus Mogilev (300 km nördlich Tschernobyl) bzw. aus Svetlogorsk (110 km nördlich Tschernobyl) zurückgekehrt sind. Bei der Ermittlung dieser Dosen wurde eine einmalige inhalationsbedingte Aktivitätszufuhr am 28.04.86 angenommen. Diese Annahme wird durch den auf dem Wiener Expertentreffen vorgelegten Unfallbericht im Nachhinein gestützt, da der 28.04.86 exakt mit dem zeitlichen Schwerpunkt der Aktivitätsfreisetzung während des Aufenthalts der Personen in der UdSSR übereinstimmt. Für die erwachsenen Rückkehrer aus Mogilev (Abb. 8/9) ergibt sich eine schmale nahezu symmetrische Häufigkeitsverteilung der Folgeäquivalentdosis mit einem Mittelwert von 8,3 mSv und einem s-Wert von 2,3 mSv entsprechend 28 %. Die Symmetrie der Verteilung stützt die Annahme, daß es sich ausschließlich um eine inhalationsbedingte Aktivitätszufuhr handelt. Bei den Kindern sind die

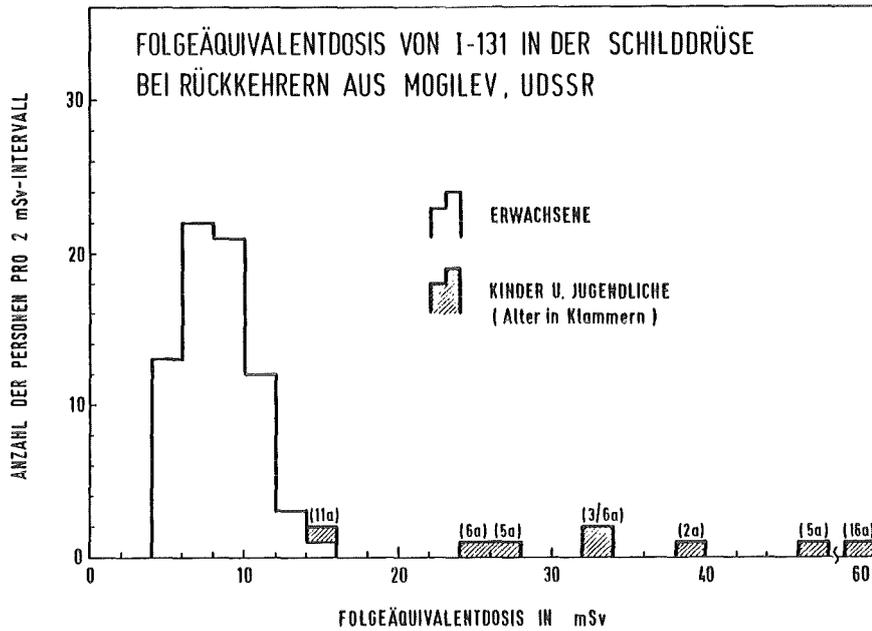


Abb. 8/9: Folgeäquivalentdosis von I-131 in der Schilddrüse bei Personen, die am 01./02.05.86 aus Mogilev, UdSSR, in die Bundesrepublik zurückgekehrt sind (Messungen im Ganzkörperzähler am 02./03.05.86)

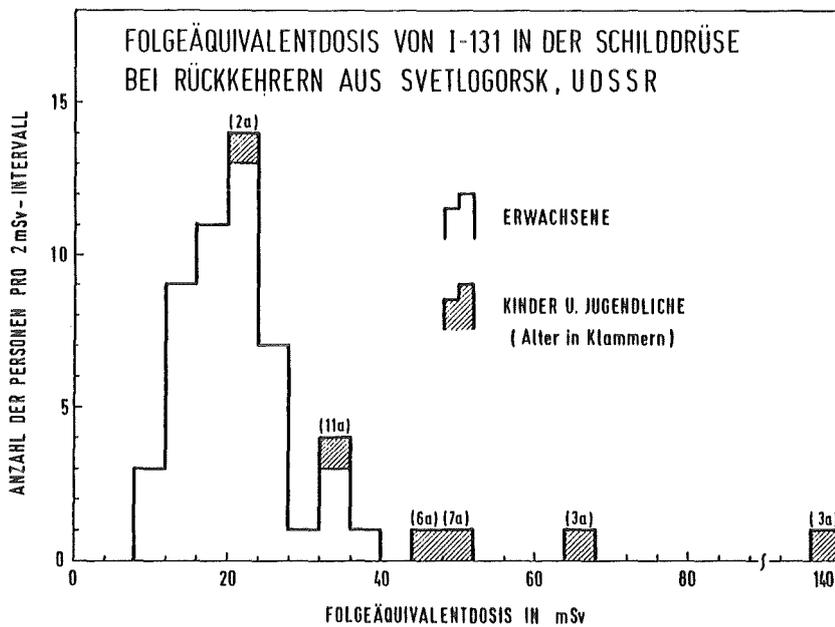


Abb. 8/10: Folgeäquivalentdosis von I-131 in der Schilddrüse bei Personen, die am 01./02.05.86 aus Svetlogorsk, UdSSR, in die Bundesrepublik zurückgekehrt sind (Messungen im Ganzkörperzähler am 02./03.05.86)

Aktivitätszufuhren zwar geringer, die resultierenden Dosen sind jedoch infolge der wesentlich höheren Konversionsfaktoren größer als bei den Erwachsenen. Sieht man von dem höchsten gemessenen Wert (58 mSv bei einer Sechzehnjährigen) ab, so ist ganz grob eine mit abnehmendem Alter steigende Tendenz der Dosis zu erkennen. Der extrem hohe Wert von 58 mSv bei der Sechzehnjährigen ist entweder auf eine

Alter in a	Aktivitätszufuhr in kBq			
	Ru-103 <sup>2)</sup>	I-131 <sup>3)</sup>	Cs-134 <sup>1)</sup>	Cs-137 <sup>1)</sup>
39	2,04	20,86	0,40	0,79
50	1,40	6,01	0,26	0,52
47	2,11	10,77	0,30	0,60
57	1,24	15,86	0,27	0,54
43	1,63	11,69	0,35	0,69
59	1,11	18,53	0,30	0,60
43	1,97	20,85	0,40	0,80
40	2,33	12,15	0,29	0,58
54	1,64	14,28	0,38	0,76
30	1,65	10,26	0,27	0,54
Mittelwert:	1,71	15,13	0,32	0,64
Standard- abweichung:	0,40	5,03	0,06	0,11

1) Ganzkörper, 2) Lunge, 3) Schilddrüse

Tab. 8/26: Aktivitätszufuhr für Personen (Erwachsene), die am 01./02.05.86 aus Mogilev, UdSSR, in die Bundesrepublik zurückgekehrt sind (Messungen im Ganzkörperzähler am 28.05.86)

Alter in a	Aktivitätszufuhr in kBq			
	Ru-103 <sup>2)</sup>	I-131 <sup>3)</sup>	Cs-134 <sup>1)</sup>	Cs-137 <sup>1)</sup>
50	2,69	27,26	0,62	1,23
63	6,96	18,38	0,90	1,79
56	3,26	15,60	0,74	1,47
57	4,73	46,14	0,96	1,91
36	3,92	45,88	0,87	1,73
38	4,53	26,34	0,65	1,28
50	3,97	40,24	0,62	1,24
52	5,20	36,23	0,78	1,54
53	6,29	30,52	0,94	1,87
53	4,87	15,69	0,87	1,73
Mittelwert:	4,64	30,22	0,80	1,58
Standard- abweichung:	1,30	11,65	0,13	0,26

1) Ganzkörper, 2) Lunge, 3) Schilddrüse

Tab. 8/27: Aktivitätszufuhr für Personen (Erwachsene), die am 01./02.05.86 aus Svetlogorsk, UdSSR, in die Bundesrepublik zurückgekehrt sind (Messungen im Ganzkörperzähler am 27.05.86)

zusätzliche Ingestion oder aber auf eine überdurchschnittlich hohe Schilddrüsenabsorption des resorbierten Iod zurückzuführen. Bei den Rückkehrern aus Svetlogorsk (Abb. 8/10) ergibt sich qualitativ etwa das gleiche Bild. Bei den Erwachsenen liegt der Mittelwert der Folgeäquivalentdosis bei 20,5 mSv und der s-Wert bei 6,6 mSv entsprechend 32 %. Bei den Kindern wurde in einem Fall ein außergewöhnlich niedriger Wert gefunden (22 mSv bei einem Zweijährigen). Dieses Kind war krank und befand sich nach dem 26.04.86 ständig in geschlossenen Räumen.

Zum Nachweis der übrigen inkorporierten Radionuklide wurden die meisten der evakuierten Personen etwa 4 Wochen später erneut im Ganzkörperzähler untersucht. Zu diesem Zeitpunkt war die Aktivität von Te-132 bzw. I-132 vollständig abgeklungen, so daß in den Spektren neben den Peaks von I-131 auch die Peaks von Ru-103, Cs-134 und Cs-137 deutlich erkennbar wurden. Eine Analyse der Peakhöhenverhältnisse in den Spektren der vier Detektoren des Ganzkörperzählers zeigte, daß bei allen Probanden die I-131-Aktivität in der Schilddrüse, die Ru-103-Aktivität in der Lunge und die Aktivität der beiden Cäsium-Isotope im gesamten Körper abgelagert war. Demnach lag das Ru-103 in schwer transportabler Form vor (Lungenretentionsklasse Y). Dies ist bei Oxiden und Hydroxiden von Ruthenium auch zu erwarten (ICRP Publikation 30). Die Cäsium- und die Iod-Aktivität lag erwartungsgemäß in leicht transportabler Form vor (Lungenretentionsklasse D). Die Tab. 8/24 und 8/25 zeigen die auf der Basis dieser Retentionsklassen bei einigen willkürlich ausgewählten Personen aus Mogilev bzw. Svetlogorsk ermittelten Aktivitätszufuhren. Dabei wurde wiederum eine einmalige inhalationsbedingte Zufuhr am 28.04.86 angenommen. Aus der mittleren I-131-Zufuhr ergibt sich eine mittlere Folgeäquivalentdosis von 4,1 mSv für Personen aus Mogilev bzw. von 8,2 mSv für Personen aus Svetlogorsk. Ein Vergleich dieser Werte mit den Ergebnissen der ersten Messungen vom 02./03.05.86 zeigt, daß bei den ersten Messungen im Mittel etwa 50 % des Meßwertes auf äußere Kontaminationen zurückzuführen war.

Setzt man die Aktivitätszufuhren ins Verhältnis zu den Aktivitätskonzentrationen in der Kleiderkontamination, so erhält man für alle Isotope nahezu die gleichen Verhältniszahlen (mittlere Streuung 13 %). Demnach kann die Nuklidzusammensetzung der Kleiderkontamination als repräsentativ für die Nuklidzusammensetzung des inhalierten Nuklidgemischs angesehen werden. Dies gestattet die Berechnung der Aktivitätszufuhr auch derjenigen Nuklide, die im Ganzkörperzähler nicht nachgewiesen werden konnten.

Zur Berechnung der gesamten inhalationsbedingten effektiven Folgeäquivalentdosis werden die auf diese Weise erhaltenen Aktivitätszufuhren mit den vom Bundesgesundheitsamt herausgegebenen Dosisfaktoren multipliziert. So erhält man beispielsweise für die Erwachsenen aus Svetlogorsk die in der letzten Spalte von Tab. 8/28 aufgeführten Werte. Es handelt sich dabei um gerundete Werte mit einem Rundungsintervall von 0,01 mSv. Für die Kinder und Jugendlichen erhält man bei Berücksichtigung der altersabhängigen Atemrate (ICRP Publikation 23) die in den übrigen Spalten von Tab. 3 angegebenen Dosiswerte. Demnach variiert die inhalationsbedingte effektive Folgeäquivalentdosis bei Rückreisenden aus Svetlogorsk zwischen 0,90 mSv (Erwachsene) und 1,29 mSv (Zehnjährige). Sieht man von den Kleinkindern ab, so sind die prozentualen Dosisbeiträge der einzelnen Radionuklide in den verschiedenen Altersgruppen etwa gleich groß. Den Hauptbeitrag liefert Ru-106 mit etwa 35 %, gefolgt von I-131 mit etwa 23 % und Ce-144 mit etwa 12 %. Der Beitrag der Transurane beläuft sich insgesamt auf etwa 18 %. Bei den Kleinkindern (1a) ist der Beitrag von I-131 mit 26 % etwas größer als in den übrigen Altersgruppen und der Beitrag der übrigen Radionuklide entsprechend kleiner.

Nuklid	Effektive Folgeäquivalentdosis in mSv				
	1 a	5 a	10 a	15 a	Erw.
Sr-89 (Y)	0,01	0	0	0	0
Sr-90 (Y)	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
Zr-95 (Y)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Nb-95 (Y)	0,01	0	0	0	0
Ru-103 (Y)	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01
Ru-106 (Y)	0,38	0,45	0,46	0,44	0,32
Tc-129m (D)	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02
I-131 (D)	0,30	0,37	0,30	0,26	0,21
Tc-132 (D)	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01
Cs-134 (D)	0	0	0,01	0,01	0,01
Cs-137 (D)	0	0	0,01	0,01	0,01
Ce-141 (Y)	0	0	0,01	0	0
Ce-144 (Y)	0,13	0,15	0,16	0,14	0,11
Pu-238 (Y)	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
Pu-239/240 (Y)	0,04	0,05	0,07	0,07	0,06
Am-241 (W)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cm-242 (W)	0,07	0,09	0,10	0,07	0,06
Cm-244 (W)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Gesamt:	1,09	1,28	1,29	1,16	0,90

Tab. 8/28: Mittlere effektive Folgeäquivalentdosen für Personen verschiedener Altersgruppen, die sich bis zum 02.05.86 in Svetlogorsk, UdSSR aufgehalten haben

### 8.2.2 Privatpersonen aus dem Raum Karlsruhe

Nachdem der größte Teil der Rückreisenden aus der UdSSR im Ganzkörperzähler untersucht war, wurden ab dem 05.05.86 hauptsächlich Privatpersonen aus dem Raum Karlsruhe gemessen. Bei diesen Messungen wurden in nahezu allen Fällen signifikante I-131-Körperaktivitäten nachgewiesen. Vergleichende Messungen mit einem abgeschirmten Schilddrüsenzähler zeigten, daß der größte Teil der mit dem Ganzkörperzähler ermittelten I-131-Aktivität in der Schilddrüse der Probanden abgelagert war. Hieraus ist unter anderem zu folgern, daß die bei den ersten Messungen am 05.05.86 nachgewiesenen I-131-Aktivitäten bereits vor dem 03.05.86 inkorporiert wurden. Aufgrund der Ergebnisse der Luftaktivitätsmessungen ist anzunehmen, daß die Inkorporation über die Atemluft hauptsächlich am 01.05.86 und am 02.05.86 erfolgte. Aus diesen Gründen wird bei den folgenden Überlegungen als Arbeitshypothese angenommen, daß die in den ersten Maitagen bei Personen aus dem Raum Karlsruhe ermittelte I-131-Aktivität hauptsächlich auf eine inhalationsbedingte Zufuhr an diesen beiden Tagen zurückzuführen ist.

Für eine erste Überprüfung dieser Annahme wurden am 07.05.86 in einer umfangreichen Untersuchung insgesamt 19 Kinder im Alter zwischen 3 und 12 Jahren und 18 Erwachsene im Alter zwischen 20 und 59 Jahren gemessen und über ihren Aufenthalt am 01./02.05.86 befragt. Die Untersuchung sollte unter

Alter/ Geschlecht 1)	Körperge- wicht in kg	Organ- aktivität <sup>2)</sup> in kBq l-131	Aktivitäts- zufuhr <sup>3)</sup> in kBq l-131	Atemrate <sup>4)</sup> in m <sup>3</sup> /d	Zeit- integral <sup>5)</sup> in kBq/m <sup>3</sup> ·d	Aufent- halt <sup>6)</sup> am 1./2.5.86
3/m	14	0,04	0,34	6,6	0,05	a
3/m	17	0,17	1,34	6,6	0,20	a
5/w	20	0,11	0,85	9,2	0,09	a
6/w	21	0,10	0,76	10,4	0,08	a
6/w	22	0,08	0,61	10,4	0,06	a
6/m	20	0,14	1,12	10,4	0,11	a
6/m	23	0,16	1,28	10,4	0,13	i
7/m	21	0,11	0,87	11,8	0,07	a
7/w	22	0,14	1,15	11,8	0,10	
8/w	28	0,29	2,34	12,8	0,18	a
8/w	30	0,21	1,67	12,8	0,13	
8/w	32	0,21	1,66	12,8	0,13	i
8/m	24	0,22	1,73	12,8	0,14	a
8/m	24	0,14	1,12	12,8	0,09	a
10/m	32	0,15	1,17	15,0	0,08	a
10/m	36	0,13	1,02	15,0	0,07	a
11/m	38	0,22	1,72	16,0	0,11	a
11/w	34	0,13	1,06	16,0	0,07	
12/w	54	0,30	2,42	17,0	0,14	a
20/w	50	0,34	2,69	22,0	0,12	
20/w	57	0,21	1,70	22,0	0,08	
22/m	71	0,22	1,74	22,0	0,08	
23/m	75	0,21	1,65	22,0	0,08	
23/w	66	0,30	2,38	22,0	0,11	
24/w	65	0,25	1,96	22,0	0,09	
26/m	61	0,17	1,34	22,0	0,07	
26/m	68	0,13	1,04	22,0	0,05	
27/m	83	0,34	2,68	22,0	0,12	a
30/m	65	0,17	1,36	22,0	0,07	
32/m	70	0,27	2,12	22,0	0,10	a
39/m	73	0,17	1,33	22,0	0,06	a
40/w	67	0,16	1,28	22,0	0,06	
42/m	74	0,15	1,21	22,0	0,06	
42/m	75	0,15	1,18	22,0	0,06	i
46/m	94	0,28	2,25	22,0	0,10	a
58/m	90	0,26	2,10	22,0	0,10	i
59/m	94	0,23	1,82	22,0	0,08	a

1) m = männlich, w = weiblich, 2) Schilddrüse, 3) Inhalation am 01./02.05.86, 4) interpoliert nach ICRP Publ. 23, 5) Luftkonzentration, 6) a = sehr häufig außerhalb geschlossener Räume; i = nahezu ausschließlich innerhalb geschlossener Räume

Tab. 8/29: Ergebnisse der Untersuchungen von Personen aus dem Raum Karlsruhe am 07.05.86 im Ganzkörperzähler

anderem auch klären, ob Personen, die sich an den beiden Tagen sehr häufig im Freien aufgehalten haben (Gruppe a), eine größere I-131-Aktivität aufgenommen haben als Personen, die an den beiden Tagen vorwiegend in geschlossenen Räumen waren (Gruppe i).

Die Tab. 8/29 vermittelt einen Überblick über die Ergebnisse der Untersuchung. Die vierte Spalte dieser Tabelle zeigt die aufgrund der Arbeitshypothese ermittelten Aktivitätszufuhren. Aus diesen Werten ergibt sich für die Kinder eine mittlere Aktivitätszufuhr von 1,28 kBq und für die Erwachsenen eine mittlere Aktivitätszufuhr von 1,77 kBq. Die Standardabweichung der Einzelwerte liegt in beiden Altersgruppen bei etwa 0,53 kBq I-131. Dividiert man die individuellen Zufuhrwerte jeweils durch die in der fünften Spalte angegebenen altersspezifischen Atemraten, so erhält man die in der sechsten Spalte angegebenen Werte für das Zeitintegral der I-131-Aktivitätskonzentration in der Atemluft. Diese Zeitintegrale entsprechen bei den Kindern und bei den Erwachsenen jeweils einer Poisson-Verteilung mit einem Mittelwert von 0,11 kBq/m<sup>3</sup>-d (Kinder) bzw. von 0,08 kBq/m<sup>3</sup>-d (Erwachsene). Betrachtet man die verschiedenen Aufenthaltskategorien, so erhält man bei den Erwachsenen Mittelwerte von 0,09 kBq/m<sup>3</sup>-d (Gruppe a), 0,08 kBq/m<sup>3</sup>-d (Gruppe i) und 0,08 kBq/m<sup>3</sup>-d (übrige). Die Varianz der Einzelwerte liegt bei etwa 0,03 kBq/m<sup>3</sup>-d, d.h. es kann kein signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Gruppen festgestellt werden. Dasselbe gilt auch für die Kinder, bei denen man Mittelwerte von 0,11 kBq/m<sup>3</sup>-d (Gruppe a), 0,13 kBq/m<sup>3</sup>-d (Gruppe i) und 0,10 kBq/m<sup>3</sup>-d (übrige) erhält. Demnach haben äußere Kontaminationen offenbar keinen signifikanten Beitrag zur I-131-Inkorporation geliefert. Dies gilt insbesondere auch für Kinder, die sich in den ersten Maitagen auf Spielplätzen aufgehalten haben. Eine entsprechende Pressenotiz vom 08.05.86 an die Deutsche Presseagentur wurde allerdings nicht weiterverbreitet.

Die Abb. 8/11 vermittelt einen Überblick über die in der Folgezeit bei Erwachsenen aus dem Raum Karlsruhe ermittelten Meßwerte der I-131-Schilddrüsenaktivität. Hierbei ist zu beachten, daß an den verschiedenen Tagen jeweils ein anderes Kollektiv untersucht wurde. Dennoch lassen sich die Mittelwerte in guter Näherung durch den aus der Arbeitshypothese resultierenden theoretischen Verlauf der Schilddrüsenaktivität nach einer Inhalation am 01./02.05.86 beschreiben. Dadurch wird eine signifikante ingestionsbedingte Aktivitätszufuhr von I-131 in der Zeit bis zum 20.05.86 weitgehend ausgeschlossen. Bei zusammenfassender Betrachtung aller Meßwerte ergibt sich eine Aktivitätszufuhr in Höhe von 1,92 kBq I-131. Bei Zugrundelegung der entsprechenden Atemrate erhält man hieraus für das Zeitintegral der Aktivitätskonzentration in der Atemluft einen Wert von 87 Bq/m<sup>3</sup>-d. Dieser Wert deckt sich mit dem bereits bei der Untersuchung am 07.05.86 ermittelten Zeitintegral.

Außer I-131 konnte bei den ersten Messungen im Ganzkörperzähler zunächst nur noch Te-132 bzw. dessen Tochternuklid I-132 nachgewiesen werden. Die Peaks der übrigen inkorporierten Nuklide wurden insbesondere durch die Peaks von I-132 überdeckt. Es wurde daher ein spezielles Strippingverfahren entwickelt, mit dessen Hilfe die Spektrumsbeiträge von Te-132 bzw. I-132 separiert und die übrigen Peaks isoliert werden können. Die Abb. 4 und 5 zeigen die auf diese Weise ermittelten Aktivitäten von Cs-137 und Ru-103. Dabei wurde aufgrund der Ergebnisse der Messungen an den Rückreisenden aus der UdSSR angenommen, daß das Ru-103 in der Lunge deponiert ist. Bei Cs-137 wird aufgrund der ICRP-Empfehlungen ein Ganzkörperdepot zugrundegelegt. Wie aus den Abb. 8/12 und 8/13 hervorgeht, kann der zeitliche Verlauf der Körperaktivität von Cs-137 und der Lungenaktivität von Ru-106 in recht guter Näherung durch die aus der Arbeitshypothese resultierenden theoretischen Kurven beschrieben werden. Lediglich der erste Wert der Körperaktivität von Cs-137 liegt - wahrscheinlich bedingt durch die Restaktivität von I-132 - signifikant über der theoretischen Kurve. Bei zusammenfassender Betrachtung aller Werte ergibt sich eine Aktivitätszufuhr von 0,065 kBq Cs-137 bzw. von 0,18 kBq Ru-103. Die hieraus ermittelten Zeitintegrale der Aktivitätskonzentrationen in der Atemluft liegen bei 3,0 Bq/m<sup>3</sup>-d (Cs-137) bzw. bei 8,2 Bq/m<sup>3</sup>-d (Ru-103).

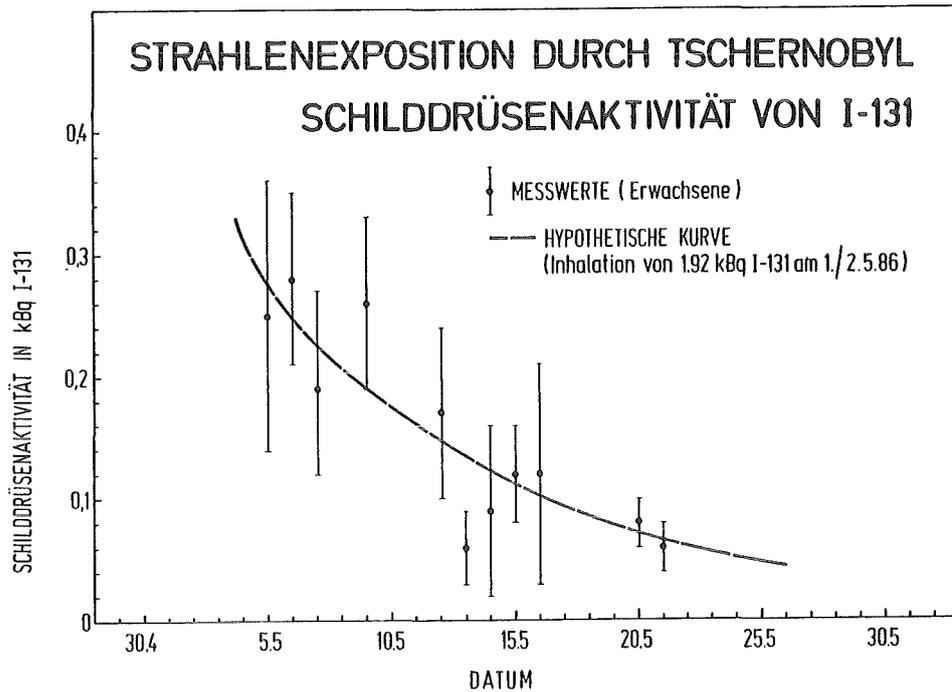


Abb. 8/11: Schilddrüsenaktivität von I-131 bei Privatpersonen aus dem Raum Karlsruhe

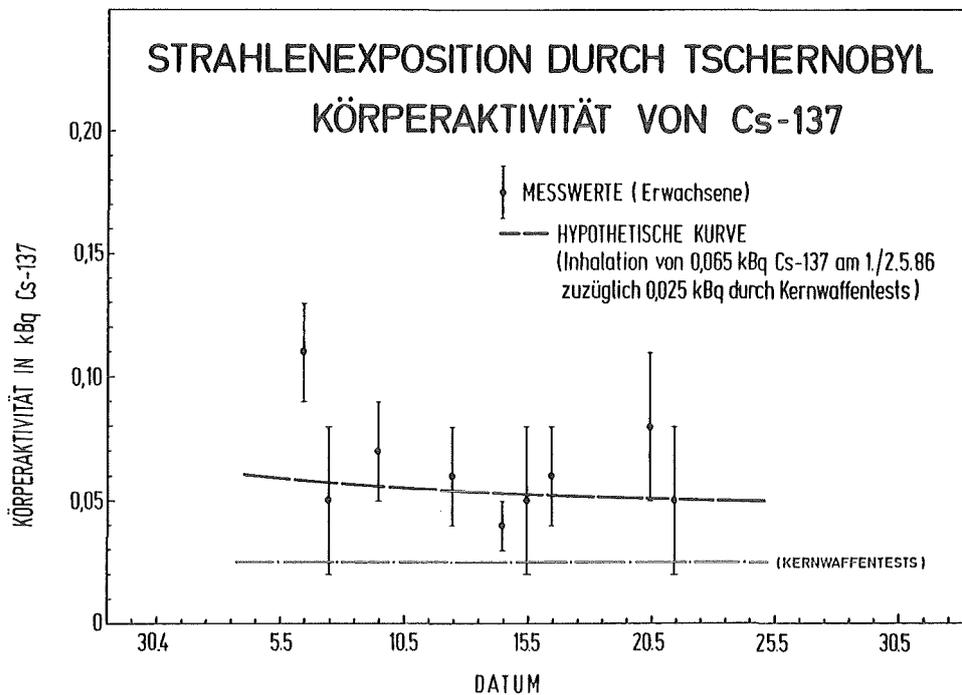


Abb. 8/12: Körperaktivität von Cs-137 bei Privatpersonen aus dem Raum Karlsruhe unter Berücksichtigung des durch die oberirdischen Kernwaffentests der vergangenen Jahre bedingten Anteils

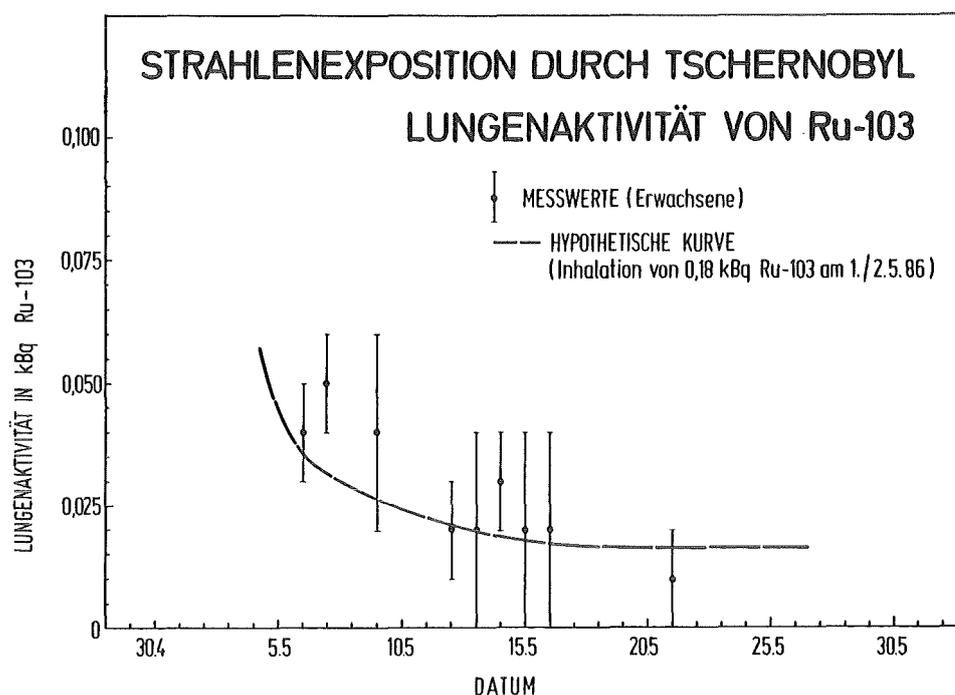


Abb. 8/13: Lungenaktivität von Ru-103 bei Privatpersonen aus dem Raum Karlsruhe

Die Tab. 8/30 vergleicht die aus den Ganzkörpermessungen abgeleiteten Zeitintegrale der Luftaktivitätskonzentration von Ru-103, I-131 und Cs-137 mit den in der bodennahen Umgebungsluft des Kernforschungszentrum direkt gemessenen Werten. Die Werte von Ru-103 zeigen eine gute Konsistenz, wenn man berücksichtigt, daß die Konzentration der aerosolgetragenen Luftaktivität in geschlossenen Räumen stets geringer als im Freien ist. Eine bei HS/R durchgeführte Abschätzung zeigt, daß bei einem Luftwechsel von 1/h und einer Depositionsrate von 0,5 /h das Verhältnis der Aktivitätskonzentrationen bei 0,67 liegt. Nimmt man an, daß die untersuchten Personen am 01. und am 02.05.86 im Durchschnitt 70 % der Zeit in geschlossenen Räumen verbracht haben, so beträgt das Zeitintegral der Aktivitätskonzentration in der Atemluft 77 % vom Zeitintegral der Aktivitätskonzentration im Freien. Diese Relation wird durch die Werte von Ru-103 in guter Näherung wiedergegeben. Die Werte von I-131 sowie von Cs-137 zeigen untereinander allerdings erhebliche Diskrepanzen. Bei Cs-137 weist die Diskrepanz der Werte darauf hin, daß die Resorption von Cäsium kleiner als 100 % (ICRP) ist. Vergleichende Untersuchungen der Ausscheidung von Cs-137 über den Stuhl und über den Urin (IGT in Zusammenarbeit mit Med/Tox) zeigen ebenfalls diese Tendenz. Bei Ganzkörpermessungen ist die Resorptionsrate allerdings nur von untergeordneter Bedeutung, da die Cs-137-Aktivität direkt im dosisrelevanten Gewebe erfaßt wird. Die effektive Äquivalentdosis kann daher unmittelbar aus dem Meßwert berechnet werden. Weit problematischer ist die Diskrepanz der Werte von I-131. Hier wird im Körper wesentlich mehr Aktivität nachgewiesen, als aufgrund der Luftaktivitätsmessung auch bei ständigem Aufenthalt im Freien zu erwarten ist. Ein Kalibrierfehler in dieser Größenordnung ist bei der Körperaktivitätsmessung auszuschließen. Auch ist es sehr unwahrscheinlich, daß neben der Inhalation eine ingestionsbedingte Zufuhr von I-131 vorliegt. In diesem Fall hätte auch eine signifikante Ingestion von Cs-137 vorliegen müssen, was aufgrund der Meßergebnisse ebenfalls auszuschließen ist. Wahrscheinlich ist die Diskrepanz der Werte von I-131 auf eine Unterbewertung der Aktivitätskonzentration bei der Luftmessung zurückzuführen (siehe Abschn. 6.8).

Nuklid	Aktivitäts- zufuhr (Inhalation) in kBq	Zeitintegral der Luftaktivitäts- konzentration in Bq/m <sup>3</sup> d	
		Ganzkörpermessung	Luftmessung
Ru-103	0,18	8,2	10,5
I-131	1,92	87	50,8
Cs-137	0,065	3,0	9,2

Tab. 8/30: Vergleich der aus den Ganzkörpermessungen und aus den direkten Luftmessungen abgeleiteten Zeitintegrale der Luftaktivitätskonzentration von Ru-103, I-131 und Cs-137 in der ersten Maiwoche

Die Tab. 8/31 zeigt die aus den Ganzkörpermessungen ermittelten inhalationsbedingten effektiven Folgeäquivalentdosen für die Nuklide Ru-103, I-131 und Cs-137. Bei der Ermittlung dieser Werte wurden die vom BGA herausgegebenen altersabhängigen Dosisfaktoren sowie die in der ICRP-Publikation 23 angegebenen altersabhängigen Atemraten benutzt. Wie aus Tab. 8/31 hervorgeht, sind die Dosisbeiträge von Ru-103 und Cs-137 in allen Altersgruppen gegenüber dem Dosisbeitrag von I-131 zu vernachlässigen. Aufgrund der Aktivitätsverteilung in der Luft (Tab. 8/31) ist zu erwarten, daß die in Tab. 6 nicht aufgeführten Nuklide die gesamte inhalationsbedingte effektive Folgeäquivalentdosis um 20 % bis 25 % des angegebenen Summenwertes erhöhen.

Nuklid	Effektive Folgeäquivalentdosis in µSv				
	1 a	5 a	10 a	15 a	Erw.
Ru-103 (Y)	0,4	0,6	0,6	0,5	0,4
I-131 (D)	21,9	28,1	22,2	19,0	15,5
Cs-137 (D)	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6
Summe	22,4	28,9	23,1	20,0	16,5

Tab. 8/31: Inhalationsbedingte effektive Folgeäquivalentdosis für verschiedene Altersgruppen aufgrund von Ganzkörpermessungen an Privatpersonen aus dem Karlsruher Raum

### 8.2.3 Karlsruher Referenzgruppe

Die Karlsruher Referenzgruppe besteht aus etwa 20 Mitarbeitern der Hauptabteilung Sicherheit, die keinen Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen und daher kein berufliches Inkorporationsrisiko haben. Mit dieser Gruppe wird seit 1961 in regelmäßigen Ganzkörpermessungen die Cs-137-Körperaktivität der Karlsruher Bevölkerung gemessen (vgl. Abschn. 6.5.2). Nach dem Unfall von Tschernobyl wurde die Referenzgruppe um etwa 20 Kinder erweitert.

Bedingt durch die Ereignisse nach Tschernobyl waren die meisten Erwachsenen der Referenzgruppe im Mai und im Juni an ihrem Arbeitsplatz unabhkömmlich. Aus diesem Grund mußten die Referenzmessungen in diesen beiden Monaten ausgesetzt werden. Für diesen Zeitraum können allerdings auch die Messungen an den Privatpersonen aus dem Raum Karlsruhe herangezogen werden. Wie aus Abb. 8/14 und Abb. 8/15 hervorgeht, passen die Ergebnisse dieser Messungen (ausgefüllte Dreiecke) sehr gut zu den Ergebnissen der im Juli wieder aufgenommenen Referenzmessungen (ausgefüllte Kreise).

Bei den Erwachsenen nahm die spezifische Cs-137-Körperaktivität stetig von etwa 0,8 Bq/kg im Mai bis auf etwa 6,5 Bq/kg im November zu (Abb. 8/14). Der Dezemberwert liegt wieder deutlich niedriger, so daß man davon ausgehen kann, daß das Maximum der Körperaktivität im November durchlaufen wurde. Betrachtet man die geschlechtsspezifischen Werte, so fällt auf, daß bei Frauen im Vergleich zu Männern bis September systematisch höhere und seit Oktober systematisch niedrigere spezifische Körperaktivitäten ermittelt wurden. Auch der quantitative Unterschied zwischen den geschlechtsspezifischen Werten zeigt eine zeitliche Systematik.

Ein ganz anderes Bild ergibt sich bei den Kindern (Abb. 8/15). Hier stieg die mittlere spezifische Körperaktivität sehr viel steiler an und durchlief bereits im August ein Maximum von etwa 7,5 Bq/kg. Danach nahm die Körperaktivität bis November wieder stetig ab. Der Dezemberwert weist allerdings wieder auf eine ansteigende Tendenz hin. Auch hier gibt es einen auffälligen geschlechtsspezifischen Unterschied der Körperaktivität. Und zwar liegen die Meßwerte für die Jungen im gesamten erfaßten Zeitbereich systematisch über den Meßwerten für die Mädchen. Der Unterschied beträgt im zeitlichen Mittel etwa 24 %.

Bei der Interpretation der Meßergebnisse muß zunächst die durch die oberirdischen Kernwaffentests bedingte Komponente der Cs-137-Körperaktivität berücksichtigt werden. Für diese Komponente wird aufgrund der vor dem Unfall von Tschernobyl durchgeführten Referenzmessungen ein konstanter Wert von 0,4 Bq/kg angesetzt. Die übrige Cs-137-Körperaktivität ist auf eine quasi einmalige Inhalation am 01./02.05.86 (vgl. Abschn. 8.2.2) sowie auf eine quasi kontinuierliche Ingestion in der Zeit danach zurückzuführen. Bei den Erwachsenen kann die Inhalationskomponente unmittelbar durch Extrapolation der im Mai gemessenen Werte (Abb. 8/12) ermittelt werden. Dabei wird zunächst die in den ICRP-Empfehlungen angegebene biologische Halbwertszeit von 110 d zugrundegelegt. Bei den Kindern wird die Inhalationskomponente über das am 07.05.86 ermittelte Verhältnis der inhalierten I-131-Aktivitäten aus der Inhalationskomponente der Erwachsenen abgeleitet. Dabei wird zunächst von einer biologischen Halbwertszeit von 50 d ausgegangen.

Nach Subtraktion des durch die Kernwaffentests verursachten Grundpegels sowie der Inhalationskomponente erhält man die in den Abb. 8/14. und 8/15 dargestellte ernährungsbedingte Komponente der Cs-137-Körperaktivität. Zur Interpretation dieser Ingestionskomponente wird eine Differentialgleichung für die ingestionsbedingte Cs-137-Körperaktivität aufgestellt. Für den zeitlichen Verlauf der Aktivitätskonzentration in der Nahrung der Karlsruher Bevölkerung wird der zeitliche Verlauf der Cs-137-Aktivität in der Milch der Molkereizentrale Karlsruhe als repräsentativer Indikator herangezogen. Um die Differentialgleichung analytisch lösen zu können, wird vereinfachend angenommen, daß die Aktivitätskonzentration in der Milch zunächst vernachlässigbar klein war, Ende Mai in einer Sprungfunktion auf einen Wert von 10 Bq/l anstieg und danach entsprechend einer Exponentialfunktion mit einer effektiven Halbwertszeit von 120 d wieder abfiel. Mit dieser Annahme ist es nach Lösung der Differentialgleichung möglich, die biologische Halbwertszeit von Cs-137 im Körper aus der zeitlichen Lage des Maximums der Ingestionskomponente (Abb. 8/14 bzw. 8/15) zu bestimmen. Dabei erhält man für die Erwachsenen in guter Übereinstimmung mit den ICRP-Empfehlungen einen Wert von etwa 120 d und für die Kinder einen Wert von etwa 40 d.

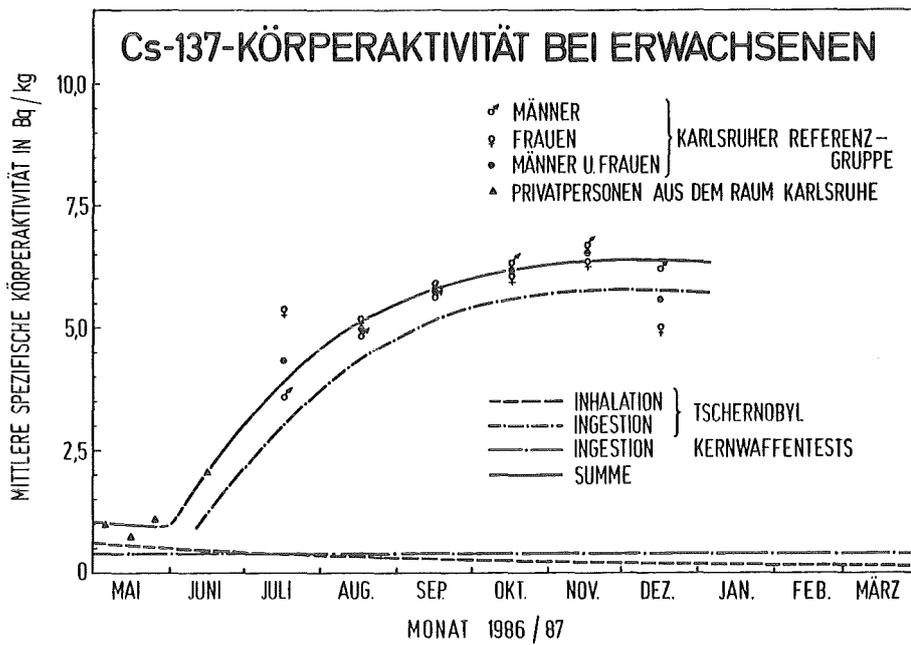


Abb. 8/14: Körperaktivität von Cs-137 bei den Erwachsenen aus der Karlsruher Referenzgruppe

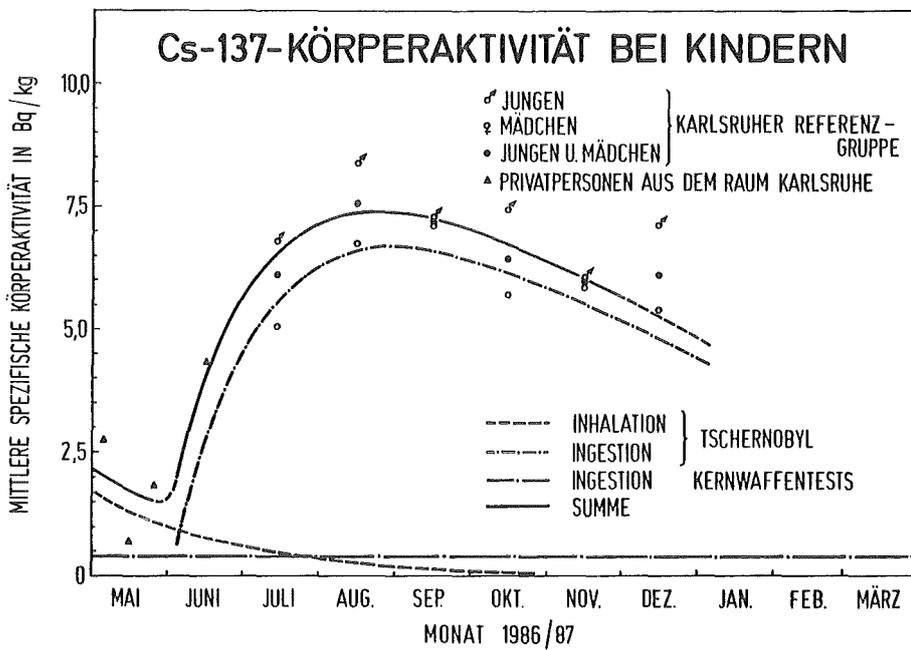


Abb. 8/15: Körperaktivität von Cs-137 bei den Kindern aus der Karlsruher Referenzgruppe

Die ingestionsbedingte Aktivitätszufuhr von Cs-137 lag bei den Erwachsenen Ende Mai zunächst bei 0,088 Bq/d pro kg Körpergewicht bzw. 5,9 Bq/d pro Person entsprechend einem Äquivalent von etwa 0,6 l Milch pro Tag und nahm danach in jeweils 120 Tagen auf die Hälfte ab. Bei den Kindern ergibt sich für Ende Mai eine ingestionsbedingte Aktivitätszufuhr in Höhe von 0,213 Bq/d pro kg Körpergewicht bzw. 4,7 Bq/d pro Person entsprechen einem Äquivalent von etwa 0,5 l Milch pro Tag. Die gesamte ingestionsbedingte Aktivitätszufuhr im ersten Jahr nach dem Unfall beträgt etwa 0,9 kBq (Erwachsene) bzw. etwa 0,7 kBq (Kinder). Bei der Ermittlung dieser Werte wurde von einer 100 %-igen Darmresorption ausgegangen. Sowohl die Ingestions- als auch die Inhalationswerte (Abschn. 8.2.2) weisen allerdings darauf hin, daß die Darmresorption höchstens 80 % beträgt. Das würde bedeuten, daß die tatsächlichen Aktivitätszufuhren mindestens 20 % größer sind. Wie bereits in Abschn. 8.2.2) erläutert wurde, hat dies jedoch keinen Einfluß auf die Bestimmung der effektiven Äquivalentdosis.

Die geschlechtsspezifischen Unterschiede der Cs-137-Körperaktivität bei den Kindern könnten dadurch erklärt werden, daß Jungen eine höhere Darmresorption als Mädchen haben, oder einfach dadurch, daß Jungen mehr Milch und Milchprodukte zu sich nehmen als Mädchen. Bei den Erwachsenen weisen die geschlechtsspezifischen Unterschiede der Cs-137-Körperaktivität darauf hin, daß die biologische Halbwertszeit von Cäsium bei den Frauen deutlich kleiner ist als bei den Männern. Eine genauere Quantifizierung der geschlechtsspezifischen biologischen Halbwertszeit ist allerdings erst möglich, wenn die Cs-137-Körperaktivität wieder eine deutlich fallende Tendenz aufweist.

Für die gesamte ingestionsbedingte effektive Folgeäquivalentdosis im ersten Jahr nach dem Unfall ergibt sich aus den Messungen an der Referenzgruppe für den Karlsruher Raum ein Wert von etwa 13  $\mu$ Sv (Erwachsene) bzw. von etwa 6  $\mu$ Sv (Kinder). Addiert man hierzu die inhalationsbedingten Folgeäquivalentdosen (Tab. 8/31), so erhält man für die gesamte interne Strahlenexposition im ersten Jahr nach dem Unfall Werte zwischen etwa 33  $\mu$ Sv (Erwachsene) und etwa 42  $\mu$ Sv (fünfjährige Kinder). Hierbei wurde angenommen, daß der Beitrag der im Ganzkörperzähler nicht nachgewiesenen Nuklide zur inhalationsbedingten Folgeäquivalentdosis bei den Erwachsenen etwa 3  $\mu$ Sv und bei den Kindern etwa 7  $\mu$ Sv beträgt.

### 8.3 Arbeiten und Erfahrungen von HS/Ü im Zusammenhang mit dem Reaktorunfall von Tschernobyl

H. Dilger

#### 8.3.1 Messungen der Aktivitätskonzentration in der Raum- und Fortluft

Die ersten Anzeichen eines anomalen Zustands der Luftaktivität traten an Raum- und Fortluftmeßstellen in Gebäuden auf, deren Zuluft nicht gefiltert ist, (s. Abb. 8/16). Man erkennt an der Schreiberregistrierung der Fortluftmeßstelle für Aerosole in Geb. 341 einen Anstieg der  $\beta$ -Aktivität ab 12.00 Uhr am 1. Mai 1986. Hierbei handelt es sich um eine Meßeinrichtung, bei der die Aktivität auf einem Glasfaserfilter akkumuliert und durch einen Großflächenproportionalzähler nach dem Pseudokoinzidenzverfahren laufend gemessen wird. Künstliche  $\alpha$ -Aktivität wurde nicht festgestellt. Der Anstieg war ab etwa 16.00 Uhr ziemlich konstant und erbrachte eine Filterbeaufschlagung von 40 Bq/h. Bei einem Volumenstrom von 60 m<sup>3</sup>/h ergibt sich somit eine  $\beta$ -Konzentration in der Fortluft von 0,7 Bq/m<sup>3</sup>.

Messungen der Raumluftaktivität mit Aerosolsammlern ergaben über die Zeit vom 1. Mai 1986, 12.00 Uhr, bis zum 2. Mai 1986, 15.00 Uhr, eine mittlere  $\beta$ -Aktivitätskonzentration von 60 Bq/m<sup>3</sup>. Das bedeutet, daß der Rückhaltefaktor der Fortluftfilter des Gebäudes für die in Tschernobyl freigesetzten Aerosole gering war. Dies könnte durch den hohen Iodanteil der Aerosolaktivität erklärt werden (s. Kap. 8.1.3).

#### 8.3.2 Messungen der Personenkontamination

Am Morgen des 2. Mai 1986 konnten die Mitarbeiter der KfK feststellen, daß die Hand-Fuß-Kleider-Monitoren Kontaminationen an Privatschuhen anzeigten, während die Kontrollen von nur in Gebäuden getragenen Dienstschuhen negativ verliefen. Im Laufe der nächsten Tage nahm das Kontaminationsniveau in Gebäuden, in denen die Zuluft nicht gefiltert war, weiter zu. Nach dem Wochenende 3./4. Mai 1986 wurde am Montag, dem 5. Mai 1986, durch eine KfK-Durchsage auf die Einschleppung von Aktivität, insbesondere Radioiod, in die Gebäude hingewiesen. In der Abteilungsleitersitzung an diesem Tag wurde beschlossen, die Alarmwerte der HFK-Monitoren für  $\beta$ -Aktivität um den Faktor 2 zu erhöhen. Die SSB wurden schriftlich darüber informiert. Die Umstellung der Alarmwerte wurde von HS/D, z. T. von HS/Ü, durchgeführt und in der 19. Kalenderwoche abgeschlossen. Dabei konnten einige Gebäude ausgenommen werden, weil sie über eine gute Zuluftfilterung verfügen, wie z. B. die Anlage "Heiße Zellen". Nach dem ersten Regen am 7. Mai 1986 war die Oberflächenkontamination auf Straßen und Gehwegen auf über 1 Bq/cm<sup>2</sup>, z. T. bis zu 2 Bq/cm<sup>2</sup>, angestiegen. Aus diesem Grunde mußte Schuhwechsel bzw. das Anlegen von Überschuhen beim Betreten der Gebäude vorgeschrieben werden.

Die HFK-Monitoren wurden im Laufe des Monats Juli wieder auf ihren ursprünglichen Alarmwert von 0,5 Bq/cm<sup>2</sup> für  $\beta$ -Aktivität zurückgestellt.

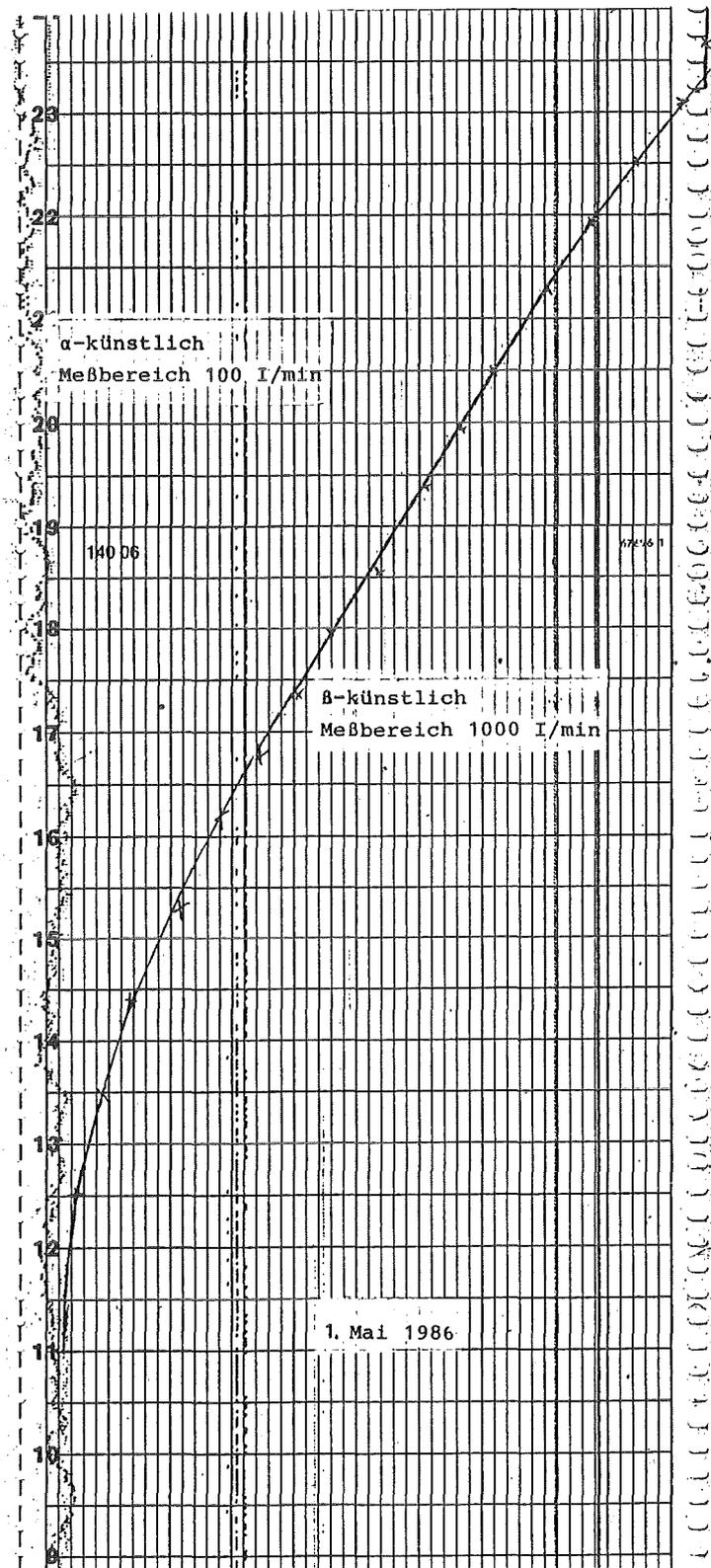


Abb. 8/16: Schreiberregistrierung der Fortluft-Aerosolmeßstelle in Geb. 341 vom 1. Mai 1986

### 8.3.3 Freigabeverfahren

Schon am 2. Mai 1986 stellte sich heraus, daß die Oberfläche von Gegenständen, die im Freien lagerten, nicht mehr freigegeben werden konnten, wenn die seitherigen Regelungen aufrechterhalten worden wären. Nach einer Zeit des Nachdenkens, in der starke Niederschläge die Kontaminationswerte weiter nach oben trieben, wurde Kontakt mit der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde aufgenommen. Sie gab uns am 21. Mai mündlich die Genehmigung, die "Tschernobyl-Aktivität" beim Freigabeverfahren nicht anzurechnen. In der Praxis verfahren wir so, daß wir den Freigabegrenzwert für Oberflächenaktivität von  $0,37 \text{ Bq/cm}^2$  um die durchschnittliche Oberflächenkontamination durch die Freisetzung von Tschernobyl von ca.  $0,7 \text{ Bq/cm}^2$  auf  $1 \text{ Bq/cm}^2$  erhöhten. Dieser Wert hatte bis Mitte Juli Gültigkeit. Danach konnte der Freigabewert auf  $0,5 \text{ Bq/cm}^2$  zurückgenommen werden, weil die kurzlebigen Isotope zerfallen waren und die langlebigen z. T. von den Oberflächen abgeschwemmt worden waren. Dieser Wert hat bis jetzt noch Gültigkeit.

Bei Zuluftfiltern von Lüftungsanlagen verfahren wir entgegen den außerhalb der KfK üblichen Praktiken restriktiv. Bei massenspezifischen Aktivitäten oberhalb dem  $10^4$ -fachen der Freigrenze/g, d. h. beim Vorherrschen von Cs-137 ab  $3,7 \text{ Bq/g}$ , wurden die Filter zum radioaktiven Abfall gegeben.

### 8.3.4 Kontaminationskontrolle an Gepäckstücken

Am 2. Mai 1986 traf um 9.00 Uhr ein Bus mit ca. 30 Frauen und Kinder aus Österreich ein. Es handelte sich hierbei um Familienangehörige von Mitarbeitern einer deutschen Firma, die sich in Svetlogorsk und Mogilev, ca. 110 bzw. 300 km nördlich von Tschernobyl, während des Reaktorunfalls aufgehalten hatten. Die Personen waren schon im Forschungszentrum bei Seibersdorf größtenteils dekontaminiert worden.

Von Mitarbeitern der HS/Ü wurde die Bekleidung, Wäsche und persönliche Artikel kontrolliert. Dabei wurden Gegenstände mit Kontaminationen oberhalb  $3,7 \text{ Bq/cm}^2$  zurückgehalten und in Foliensäcken aufbewahrt. An einer Reisetasche wurde ein Maximalwert von  $750 \text{ Bq/cm}^2$  festgestellt.

Eine weitere Aktion lief am Samstag, dem 3. Mai, ab. Hierbei wurden durch Mitarbeiter des Wechselschichtdiensts und der Rufbereitschaft das Gepäck von ca. 120 Männern und Frauen derselben Firma auf Kontamination kontrolliert. Die höchste Oberflächenkontamination betrug  $36 \text{ Bq/cm}^2$ . Auch an diesem Tag wurden einige Säcke mit Wäsche und Kleidung zurückgehalten. Diese Gegenstände wurden einige Monate später der betroffenen Firma übergeben.

### 8.3.5 Dienstleistung für Institutionen außerhalb der KfK GmbH

Neben vielen telefonischen Auskünften und Beratungen wurden im Meßlabor der HS/Ü ca. 40 Fleisch-, Milch-, Wasser- und Gemüseproben zur Unterstützung von HS/R  $\gamma$ -spektrometrisch ausgewertet. Des Weiteren wurde die Stadt Karlsruhe durch die Bereitstellung von einem Luftstaubsammler und drei Kontaminationsmeßgeräten unterstützt. Die Luftstaubsammler wurden im Städtischen Klinikum und im Klärwerk eingesetzt. Mit den Kontaminationsmeßgeräten wurde das Gemüse auf dem Großmarkt Karlsruhe ausgemessen. Für die Stadt Ettlingen wurden Wasser- und Grasproben aus Schwimmbädern untersucht.

## 9 Bibliographie, Beratertätigkeit

### 9.1 Veröffentlichungen 1986

- [1] AXMANN, J.; OLDEKOP, W.; DILGER, H. Aufbau-Faktoren für Point-Kernel-Berechnungen von mehrfach abgeschirmten Abfallgebinden; ein Vergleich zwischen Messungen und Rechnungen. Atomkernenergie-Kerntechnik, 48(1986) S.245
- [2] BOEHM, J.; PIESCH, E.; REGULLA, D., Hrsg.: Neue Meßgrößen für Personen dosimeter : Ergebnisse des Vergleichsprogramms 1985; Bericht über das Seminar, Braunschweig, 26.-27.November 1985. PTB-DOS-14 (1986)
- [3] BOEHM, J.; PIESCH, E.; REGULLA, D.F. How accurately do thermoluminescent and photoluminescent dosimetry systems indicate the new ICRU dose quantities for individual monitoring? 8th Internat.Conf.on Solid State Dosimetry, Oxford, GB, August 26-29, 1986
- [4] BOHN, B.; SCHÜTTELKOPF, H. Radiochemical determination of Tc-99 in gaseous and liquid effluents and environmental samples by liquid scintillation counting. Eriksson, Ake , Hrsg.: 1st Internat.Contact Seminar in Terrestrial Radioecology, Uppsala, S, July 8-11, 1985 SLU-REK-61 (1986). - S.63-68
- [5] BOHN, B.; SCHÜTTELKOPF, H.; SCHMIDT, W. Migration of different Tc-99 species in soil and biological uptake by plants. 2. Seminar 'Behavior of Tc in Terrestrial and Aquatic Environs', Seattle, Wash., May 5-10, 1986
- [6] BOHN, B.; SCHÜTTELKOPF, H.; SCHMIDT, W. Migration of different Tc-99 species in soil and biological uptake by plants. 2nd Contact Seminar on Radioecology, Piacenza, I, September 8-10,1986
- [7] BURGKHARDT, B.; PIESCH, E. KfK-Ergebnisse für das Edelstahl-Fingerringdosimeter. Boehm, J.; Piesch, E.; Regulla, D., Hrsg.: Neue Meßgrößen fuer Personendosimeter : Ergebnisse des Vergleichsprogramms 1985; Bericht über das Seminar, Braunschweig, 26.-27.November 1985 PTB-DOS-14 (1986). - S.200-01
- [8] BURGKHARDT, B.; PIESCH, E. TLD-Ergebnisse für die Alnor-Dosimeterhalterung in der universellen Albedokapsel und in der Alnorplakette. Boehm, J.; Piesch, E.; Regulla, D. , Hrsg.: Neue Meßgrößen für Personendosimeter : Ergebnisse des Vergleichsprogramms 1985; Bericht über das Seminar, Braunschweig, 26.-27.November 1985 PTB-DOS-14 (1986). - S.168-71
- [9] BURGKHARDT, B.; SCHWARZ, W. Evaluation techniques for different TL albedo dosemeter systems using automatic read-out. 8th Internat.Conf.on Solid State Dosimetry, Oxford, GB, August 26-29, 1986

- [10] DERTINGER, H. Cell communication and radiosensitivity of spheroids and experimental brain tumors. 17. Internat. GBK-Symp. (Gesellschaft zur Bekämpfung von Krebskrankheiten), 27.-29. Juni 1985
- [11] DERTINGER, H.; HOTZ, G.; TAYLOR, D. Toxikologische und radiobiologische Experimente an Zellkulturen: Ersatz und Ergänzung von Tierversuchen. KfK-Nachrichten, 18 (1986) S.40-45
- [12] DERTINGER, H.; MÜLLER, A.; NAGEL, K.; RIEDL, A.; STRACK, S. Fixierung von radioaktivem Iod im Boden. Teil 1: Experimentelle Untersuchung an Bodensäulen. Teil 2: Kinetische Behandlung. KfK-3916 (Februar 86)
- [13] DILGER, H.; DOERFEL, H.; SCHIEFERDECKER, H. Comparison of various methods of routine monitoring for plutonium incorporation at a waste management facility. Radiation Protection Dosimetry, 15(1986) S.167-75
- [14] DOERFEL, H. 25 Jahre In-vivo-Messung von Transuranen bei KfK. 4th European Congress and Regional Congress of the Internat. Radiation Protection Association, Salzburg, A, September 15-19, 1986
- [15] DOERFEL, H. 25 Jahre Referenzmessungen im Karlsruher Ganzkörperzähler: Cs-137 im Menschen, Co-60 in Stahl, Ra-226 und Th-232 in Papier. 4th European Congress and Regional Congress of the Internat. Radiation Protection Association, Salzburg, A, September 15-19, 1986
- [16] DOERFEL, H.; GRAFFUNDER, H.; PIESCH, E. Measurement of the effective dose equivalent due to low-energy X-rays emitted from video display terminals and colour television sets. Workshop on Dosimetry of Beta Particles and Low Energy X-rays, Saclay, F, October 7-9, 1985 Radiation Protection Dosimetry, 14(1986) S.123-26
- [17] DOERFEL, H.; SCHIEFERDECKER, H. Zuverlässigkeit und zeitliche Verfügbarkeit initialer Meßergebnisse. Mainz, E., Hrsg.: Inkorporation von Radionukliden: Workshop, Hamburg, 27.-28. Februar 1986 Hamburg: Hamburgische Elektrizitäts-Werke AG, 1986. - S.65-95
- [18] DOERFEL, H., Discrimination of Internal and External Contamination at "in vivo" Measurements. Seminar on Radiation Protection and Dosimetry and General Aspects Related to the Chernobyl Accident, Rio de Janeiro, BR, October 27 - November 5, 1986, Extended Synopses, S. 5-9
- [19] DOERFEL, H., Uranium Incorporation Measurements using Phoswich Detectors. Seminar on Radiation Protection and Dosimetry and General Aspects Related to the Chernobyl Accident, Rio de Janeiro, BR, October 27 - November 5, 1986, Extended Synopses, S. 5-9

- [20] GUIMARAES, J.R.D.; WINTER, M. Environmental monitoring of the Angra reactor site. Program and results for unit 1, monitoring period 1982-1984. KfK-4013 (April 86) CNEN-1301 (April 86)
- [21] KIEFER, H. Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl - Bevölkerungsdosis. Abschlußkolloquium des Projektes Nukleare Sicherheit 1986, Karlsruhe, 10.-11.Juni 1986 KfK-4170 (August 86) S.23-29
- [22] KIEFER, H. Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl. Atomwirtschaft-Atomtechnik, 31(1986) S.394
- [23] KIEFER, H. Die Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf die Bevölkerungsdosis. KfK-Nachrichten, 18(1986) S.133-34
- [24] KIEFER, H. Vorstellungen zu einem an der-Praxis orientierten Strahlenschutzrecht. 4th European Congress and Regional Congress of the Internat. Radiation Protection Association, Salzburg, A, September 15-19, 1986
- [25] KIEFER, H.; KOELZER, W. Strahlen und Strahlenschutz. Vom verantwortungsbewußten Umgang mit dem Unsichtbaren. Berlin, u.a., Springer 1986
- [26] KIEFER, H.; KOELZER, W.; KÖNIG, L.A.; HRSG.; ALLE MITARBEITER DER HAUPTABTEILUNG SICHERHEIT; :AUTOREN: Jahresbericht 1985 der Hauptabteilung Sicherheit. KfK-4067 (April 86)
- [27] KIEFER, H.; ROEBER, H.G., Verfahren zur gleichzeitigen Messung von  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen und Detektoreinrichtung zur Durchführung des Verfahrens. DE-PS 30 03 909 (1.9.1986)
- [28] KÖNIG, L.A. Gibt es einen Zusammenhang zwischen Umweltradioaktivität und Waldschäden? Teil 1 und 2. GIT-Fachzeitschrift für das Laboratorium, 29(1985) S.1123-31 S.1256-65
- [29] KÖNIG, L.A. Reaktorunfall: Langfristige Probleme für die Landwirtschaft? DLG-Mitteilungen, 12(1986) S.678-80
- [30] KÖNIG, L.A. Releases of tritium from the Karlsruhe Nuclear Research Center and its radioecological behaviour in the environment. Seminar on the Cycling of Long-lived Radionuclides in the Biosphere: Observations and Models, Madrid, E, September 15-19, 1986
- [31] KÖNIG, L.A. Schadstoffbildung im Lee kerntechnischer Anlagen. Naturwissenschaften, 73(1986) S.651-54
- [32] KÖNIG, L.A. Waldschäden durch kerntechnische Anlagen? Umschau, 86(1986) S.107-111

- [33] KÖNIG, L.A.; FESSLER, H. Strahlenexposition von Bäumen durch den Tschernobyl-Unfall. Vortr.: Forum 'Einfluss radioaktiver Stoffe auf das Schadstoffpotential der Atmosphäre und auf die Aktivitätsbelastung von Pflanzen', Stuttgart, 7. November 1986
- [34] KÖNIG, L.A.; SCHÜTTELKOPF, H.; ERAT, S.; FESSLER, H.; HEMPELMANN, S.; MAURER, K.; PIMPL, M.; RADZIWILL, A. Der Reaktorunfall von Tschernobyl. Meßergebnisse des Kernforschungszentrums Karlsruhe. KfK-4115 (August 86)
- [35] LIESE, TH. The analysis of elements within the framework of soil to plant transfer factor evaluation. Eriksson, Ake :Hrsg.: 1st Internat. Contact Seminar in Terrestrial Radioecology, Uppsala, S, July 8-11, 1985 SLU-REK-61 (1986). - S.3-22
- [36] LIESE, TH.; SCHMIDT, W. Investigation on the root uptake of Co, Pb, and Cr in grass. Eriksson, Ake :Hrsg.: 1st Internat. Contact Seminar in Terrestrial Radioecology, Uppsala, S, July 8-11, 1985 SLU-REK-61 (1986). - S.169-80
- [37] PAPADOPOULOS, D.; KÖNIG, L.A.; LANGGUTH, K.G.; FARK, S. Contamination of precipitation due to tritium release into the atmosphere. Workshop 'Environmental and Human Risk of Tritium', Karlsruhe, 17.-19. Februar 1986
- [38] PIESCH, E. Alternativkonzept zur ICRU-Meßgröße für Personendosimeter. Boehm, J.; Piesch, E.; Regulla, D., Hrsg.: Neue Meßgrößen für Personendosimeter : Ergebnisse des Vergleichsprogramms 1985; Bericht über das Seminar, Braunschweig, 26.-27. November 1985 PTB-DOS-14 (1986). - S.276-86
- [39] PIESCH, E. Phosphatglasdosimetrie - nach 25 Jahren Routineinsatz neue Perspektiven für die Personen- und Umgebungsüberwachung. 4th European Congress and Regional Congress of the Internat. Radiation Protection Association, Salzburg, A, September 15-19, 1986
- [40] PIESCH, E.; BURGKHARDT, B. Messung von H(10) mit PL-Gläsern in der Kugel- und Flachglasdosimeterkapsel und Vergleich mit TLD-Ergebnissen. Boehm, J.; Piesch, E.; Regulla, D, Hrsg.: Neue Meßgrößen für Personendosimeter : Ergebnisse des Vergleichsprogramms 1985; Bericht über das Seminar, Braunschweig, 26.-27. November 1985 PTB-DOS-14 (1986). - S.212-18
- [41] PIESCH, E.; BURGKHARDT, B. One-element phosphate glass dosimetry systems for the simultaneous indication of different dose quantities in individual and area dosimetry. 8th Internat. Conf. on Solid State Dosimetry, Oxford, GB, August 26-29, 1986
- [42] PIESCH, E.; BURGKHARDT, B. Albedo neutron dosimetry in routine monitoring. Seminar on Radiation Protection and Dosimetry and General Aspects Related to the Chernobyl Accident, Rio de Janeiro, BR, October 27 - November 5, 1986

- [43] PIESCH, E.; BURGKHARDT, B. Application of track etch detectors in radon and neutron dosimetry. Seminar on Radiation Protection and Dosimetry and General Aspects Related to the Chernobyl Accident, Rio de Janeiro, BR, October 27 - November 5, 1986
- [44] PIESCH, E.; BURGKHARDT, B. Progress in beta- and photon dosimetry for personnel and environmental monitoring. Seminar on Radiation Protection and Dosimetry and General Aspects Related to the Chernobyl Accident, Rio de Janeiro, BR, October 27 - November 5, 1986
- [45] PIESCH, E.; BURGKHARDT, B.; ANTON, R. Dose rate measurements in the beta-photon radiation field from UO<sub>2</sub> pellets and glazed ceramics containing uranium. Workshop on Dosimetry of Beta Particles and Low Energy X-rays, Saclay, F, October 7-9, 1985 Radiation Protection Dosimetry, 14 (1986) S.109-12
- [46] PIESCH, E.; BURGKHARDT, B.; FISCHER, M.; ROEBER, H.; UGI, S. Properties of radiophotoluminescent glass dosimeter system using pulsed laser UV excitation. 8th Internat. Conf. on Solid State Dosimetry, Oxford, GB, August 26-29, 1986
- [47] PIESCH, E.; DOERFEL, H.R.; Die radiolog. Konsequenzen des Reaktorunfalles in Tschernobyl: Meßergebnisse und radiolog. Folgen in der BRD. Symposium "Die Radiolog. Konsequenzen des Tschernobyl-Unfalles", Seibersdorf (10-12.1986
- [48] REDDMANN, Th.; SCHÜTTELKOPF, H. Thermoluminescence Dating of Pleistocene Travertine. 8th Int. Conf. on Solid State Dosimetry, Oxford, Aug. 1986
- [49] PIMPL, M. Influence of Redox-potentials in soils on the plant availability of Pu and Np - some theoretical considerations. 2nd Contact Seminar on Terrestrial Radioecology, Piacenza, I, September 8-10, 1986
- [50] PIMPL, M.; BOHN, B.; LANCARICS, G. Investigation of the migration behavior of H-3, Tc-99, Np-237, Pu-238, Am-241, and Cm-244 in soil columns by irrigation with complexing agents. Eriksson, Ake :Hrsg.: 1st Internat. Contact Seminar in Terrestrial Radioecology, Uppsala, S, July 8-11, 1985 SLU-REK-61 (1986). - S.137-44
- [51] PIMPL, M.; SCHMIDT, W. Investigation of the root uptake of Np, Pu, Am, and Cm in grass, wheat, maize, and potatoes. Eriksson, Ake, Hrsg.: 1st Internat. Contact Seminar in Terrestrial Radioecology, Uppsala, S, July 8-11, 1985 SLU-REK-61 (1986). - S.191-200
- [52] PIMPL, M.; SCHMIDT, W. Root uptake studies of Np, Pu, Am and Cm into different plant species. 2nd Contact Seminar on Terrestrial Radioecology, Piacenza, I, September 8-10, 1986
- [53] PIMPL, M.; SCHMIDT, W.; SCHÜTTELKOPF, H. Boden/Pflanzen-Transfer der Aktiniden. Abschlusskolloquium des Projektes Nukleare Sicherheit 1986, Karlsruhe, 10.-11. Juni 1986 KfK-4170 (August 86) S.549-66

- [54] PIMPL, M.; SCHÜTTELKOPF, H. A fast radiochemical procedure to measure sequentially Pu, Am, Cm, and Np in environmental samples. Eriksson, Ake, Hrsg.: 1st Internat. Contact Seminar in Terrestrial Radioecology, Uppsala, S, July 8-11, 1985 SLU-REK-61 (1986). - S.69-76
- [55] PIMPL, M.; SCHÜTTELKOPF, H. Radioecological studies on plutonium in the surroundings of the Karlsruhe Nuclear Research Center (KfK). A summary of the results from 1969 to 1984. Eriksson, Ake, Hrsg.: 1st Internat. Contact Seminar in Terrestrial Radioecology, Uppsala, S, July 8-11, 1985 SLU-REK-61 (1986). - S.89-100
- [56] PIMPL, M.; SCHÜTTELKOPF, H. The measurement of plutonium in environmental samples and in gaseous and liquid effluents of nuclear installations. Eriksson, Ake, Hrsg.: 1st Internat. Contact Seminar in Terrestrial Radioecology, Uppsala, S, July 8-11, 1985 SLU-REK-61 (1986). - S.53-62
- [57] SCHIEFERDECKER, H.; DILGER, H. Anwendung des Lungenmodells der ICRP zur Inkorporationsüberwachung radioaktiver Stoffe. Klausurtagung der Strahlenschutzkommission zum Thema 'Berufliche Strahlenexposition', Glottertal, 7.-8. November 1985
- [58] SCHIEFERDECKER, H.; HENRICHS, K.; KOELZER, W. Vorschlag für die Ableitung von Grenzwerten für die Hautkontamination und -dekontamination. GSF-Bericht 11/85 (April 85) GSFS-1232 British Journal of Radiology, Suppl. 19, 1986, Radiation Damage to Skin
- [59] SCHMIDT, W.; BOHN, B. Influence of heavy metals (Sb, Se, As) on germination capacity of summer-wheat (*triticum aestivum*) and garden-pea (*pisum sativum*). 2nd Contact Seminar on Terrestrial Radioecology, Piacenza, I, September 8-10, 1986
- [60] SCHMIDT, W.; LIESE, TH. Die Schadstoff-Verteiler. Regenwürmer reichern Cadmium, Cobalt und Blei im Boden an. Ein Säulenexperiment. EntsorgungsPraxis, (1986) Nr. 2 S.94-96
- [61] SCHMIDT, W.; LIESE, TH. The function of earthworms in pollutant mobilisation in the soil - investigations of Pb, Co, Cr, Ni, and Cd migration in soil columns due to earthworms. Eriksson, Ake, Hrsg.: 1st Internat. Contact Seminar in Terrestrial Radioecology, Uppsala, S, July 8-11, 1985 SLU-REK-61 (1986). - S.201-08
- [62] SCHMIDT, W.; LIESE, TH.; SOLLICH, TH. Verteilung von Schadstoffen durch Regenwürmer (*Lumbricus terrestris*). Teil I: Anreicherung von Blei, Chrom, Cobalt, Nickel und Cadmium in Wurmaggregaten und Wurmgewebe. Teil II: Vertikaler Transport der Elemente Blei, Chrom, Cobalt, Nickel und Cadmium durch Regenwürmer. KfK-4028 (Februar 86)

- [63] SCHMIDT, W.; PIMPL, M. The measurement of transfer factors in an air conditioned greenhouse at the Karlsruhe Nuclear Research Center - a survey of procedures used for soil contamination and plant cultivation in radioecological research studies. Eriksson, Ake, Hrsg.: 1st Internat.Contact Seminar in Terrestrial Radioecology, Uppsala, S, July 8-11, 1985 SLU-REK-61 (1986). - S.115-22
- [64] SCHMITZ, J.; URBAN, M. Praktische Erfahrungen mit der Dosismessung in Uranminen. 4th European Congress and Regional Congress of the Internat.Radiation Protection Association, Salzburg, A, September 15-19, 1986
- [65] SCHMITZ, J.; URBAN, M.; PINEAU, J.F.; ZETTWOOG, P. Experiences with Different Techniques for Routine Dose Assesment of Uranium Miners. International Symposium on Radiation Protection in Mines, Beijing, China, November 10-14, 1986
- [66] SCHÜTTELKOPF, H.; BAILER, H.; BOHN, B.; ERAT, S.; GAMER, K.; HEFNER, G.; HILLER, J.; KIEHLING, A.; LIESE, T.; PIMPL, M.; SCHMIDT, W.; SOLLICH, T.; WÜNSCHEL, W. Untersuchung des physikalischen und chemischen Verhaltens biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt. In: Projekt Nukleare Sicherheit. Jahresbericht 1985 KfK-4000 (Juli 86) S.4800/1-4800/29
- [67] SCHÜTTELKOPF, H.; PIMPL, M. Bestimmung und Verhalten von Plutonium in den Abwasser- und Abluftpfaden in der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe. Baumgärtner, F., Hrsg.: Nukleare Entsorgung. Nuclear Fuel Cycle. Internat.Schriftenreihe zur Chemie, Physik und Verfahrenstechnik der nuklearen Entsorgung. Bd. 3, Weinheim, Verl.Chemie 1986, S.323-69
- [68] SCHÜTTELKOPF, H.; WICKE, A. Der Reaktorunfall von Tschernobyl. Die Strahlenexposition in Raum Karlsruhe. KfK-4140 (November 86)
- [69] STRACK, S. Modeling of tritium in plants considering atmospheric releases from nuclear installations. BGA-Workshop 'Experiences with Radioecological Assessment Models, Comparisons between Predictions and Observations', Neuherberg-München, November 5-7, 1986
- [70] STRACK, S.; UNGER, H. Untersuchungen des Wassertransports und der Wasserumsätze in Fichten mit Hilfe von Tritium. Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung (PEF). 2. Statuskolloquium des PEF vom 4. bis 7. März 1986 im Kernforschungszentrum Karlsruhe. KfK-PEF 4 (April 86) Band 1 S.213-24
- [71] WEIBEZAHN, K.F.; COQUERELLE, T.M. Relationship between double strand break rejoining and G2 block formation in V79 cells. Radiation and Environmental Biophysics, 25(1986) S.13-21
- [72] WILKENING, M.; WICKE, A. Seasonal variation of indoor Rn at a location in the southwestern United States. Health Physics, 51(1986) S.427-36

- [73] WINTER, M.; VÖLKLE, H.; NARROG, J.; MEYER, P.; KIRCHHOFF, K. Die Radioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland und in der Schweiz nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl. FS-86-39-AKU (Oktober 86) 4th European Congress and 13th Regional Congress of IRPA: Twenty Years Experience in Radiation Protection, Salzburg, September 15-19, 1986
- [74] WINTER, M. The Radioactivity in the Federal Republic of Germany and in Switzerland after the Chernobyl Reactor Accident. Seminar on Radiation Protection and Dosimetry and General Aspects Related to the Chernobyl Accident, Rio den Janeiro, BR, October 27 - November 5, 1986, Extended Synopses, S. 5-9
- [75] WINTER, M. Optimization of Environmental Monitoring. Seminar on Radiation Protection and Dosimetry and General Aspects Related to the Chernobyl Accident, Rio de Janeiro, BR, October 27 - November 5, 1986, Extended Synopses, S. 49-57
- [76] WINTER, M. Results of an Inquiry on Measured Values for the Territory of the Federal Republic of Germany. EAES Symposium on Survey of Radiological Consequences of the Tschernobyl Accident in the EAES-Member States, held at Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung München, Neuherberg, 4-5 Dec. 1986

## 9.2 Beratertätigkeit

Eurados Working Group 2 - Dosimetry of Beta Particles and Low Energy X-Rays (Piesch)

Eurados Working Group 5 - Application of Track Detectors in Neutron Dosimetry (Piesch)

IAEA Technical Committee "Safe Handling of Tritium" (König)

IAEA Working Group "Assessment of Occupational Exposures to External Irradiation for Monitoring Purposes" (Piesch)

IEC-Arbeitsgruppe "Meßgeräte für Radon und Zerfallsprodukte in Luft" (Urban)

"Nuclear Tracks and Radiation Measurement", Pergamon Press, Zeitschrift Editorial Advisory Board (Piesch)

"Radiation Protection Dosimetry", Nuclear Technology Publishing, Zeitschrift Editorial Board (Piesch)

"Arbeitssicherheit", Arbeitskreis des Landesverbandes Südwestdeutschland der gewerblichen Berufsgenossenschaften (Windbühl)

"Beirat des Normenausschusses Kerntechnik", Deutsches Institut für Normung, DIN (Kiefer)

"Dosimetrie", Arbeitsausschuß des Normenausschusses Radiologie des DIN (Piesch)

"Dosismessung externer Strahlung", Arbeitskreis des Fachverbandes für Strahlenschutz (Burgkhardt, Piesch)

"Durchfluß und Menge", Gemeinschaftsausschuß der Gesellschaft für Meß- und Regeltechnik (Schmitz)

"Entsorgung", Arbeitskreis des Fachverbandes für Strahlenschutz (Dilger)

"Fachliche Berater der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen", Regierungspräsidium Karlsruhe (Winter)

"Geheimschutz in der Wirtschaft - Personeller Geheimchutz", Landesstelle für Betriebsschutz, Stuttgart (Wolf)

"Inkorporationsüberwachung", Arbeitskreis des Fachverbandes für Strahlenschutz (Dilger, Doerfel)

"Messung von Pu in der Lunge", Arbeitsgruppe der Direktion Gesundheitsschutz, Euratom (Doerfel)

"Nachweisgrenzen radioaktiver Stoffe", Normenausschuß Kerntechnik des DIN (Berger, Winter)

"Neutronendosimetrie", Normenausschuß Radiologie des DIN (Piesch)

"Oberflächendekontaminationsverfahren", Normenausschuß Kerntechnik des DIN (Berger)

"Radioaktivität und Waldschäden", Arbeitsgruppe des Ausschusses Radioökologie bei der Strahlenschutzkommission, BMI (König)

"Radioaktivitätsüberwachung der Luft", Normenausschuß Kerntechnik des DIN (Berger)

"Radioaktivität", Arbeitskreis 2 der Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker (Erat)

"Sedimentforschung", Arbeitsgruppe des Ausschusses Radioökologie bei der Strahlenschutzkommission, BMI (Winter)

"Standpunkte zu Fragen des Strahlenschutzes", Arbeitsgruppe des Fachverbandes für Strahlenschutz (Kiefer)

"Strahlenschutzkriterien für die Wiederverwertung von Materialien beim Abbau von kerntechnischen Anlagen", Arbeitsgruppe gemäß Artikel 31 des Euratomvertrages, Euratom (Dilger)

"Strahlenschutzmedizin", Beirat des Instituts für Strahlenschutz des Hauptverbandes der Berufsgenossenschaften (Kiefer)

"Strahlenschutztechnik", Fachbereich 2 des Normenausschusses Kerntechnik des DIN (Kiefer, Piesch)

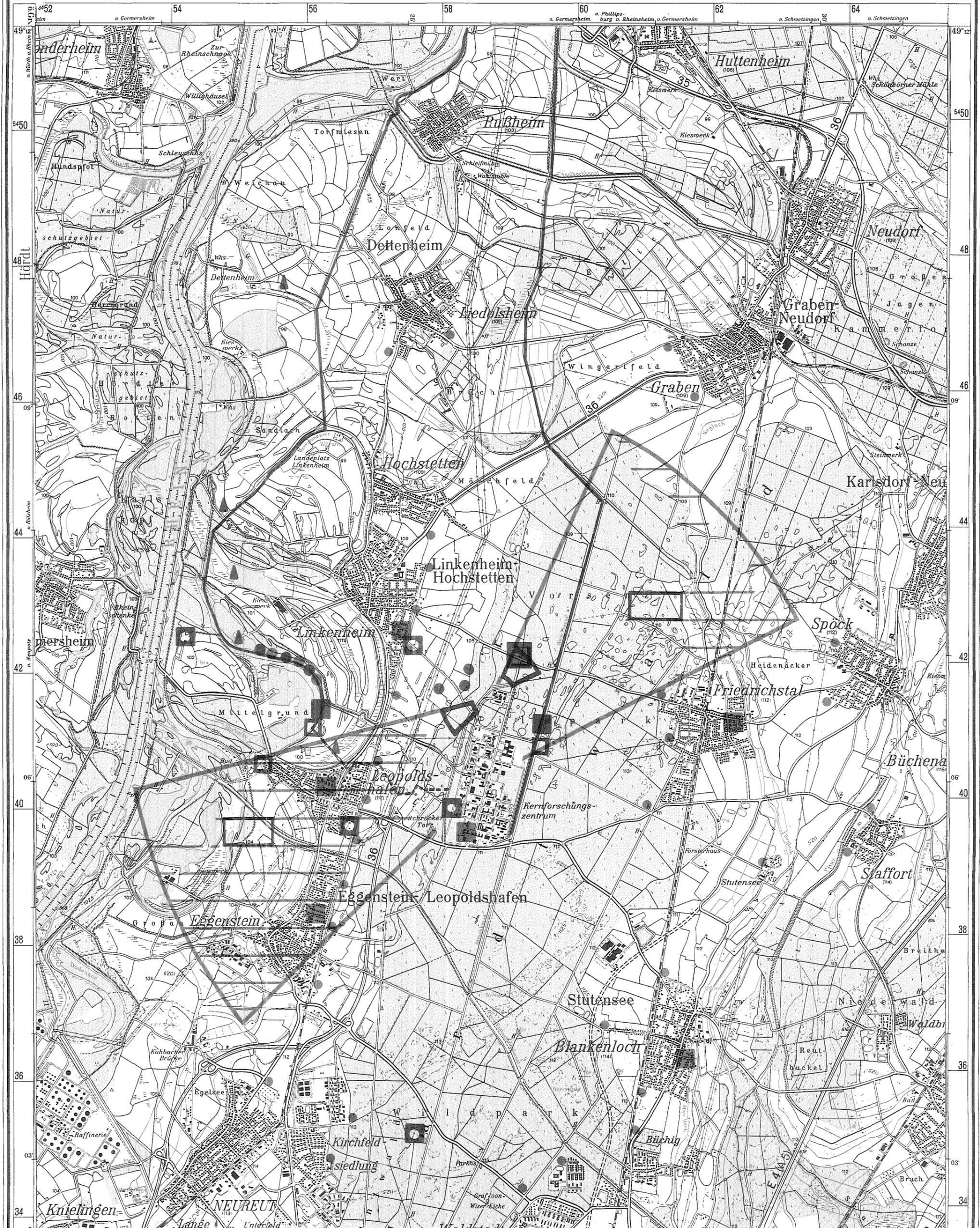
"Thermolumineszenzdosimetrie", Normenausschuß Radiologie des DIN (Piesch)

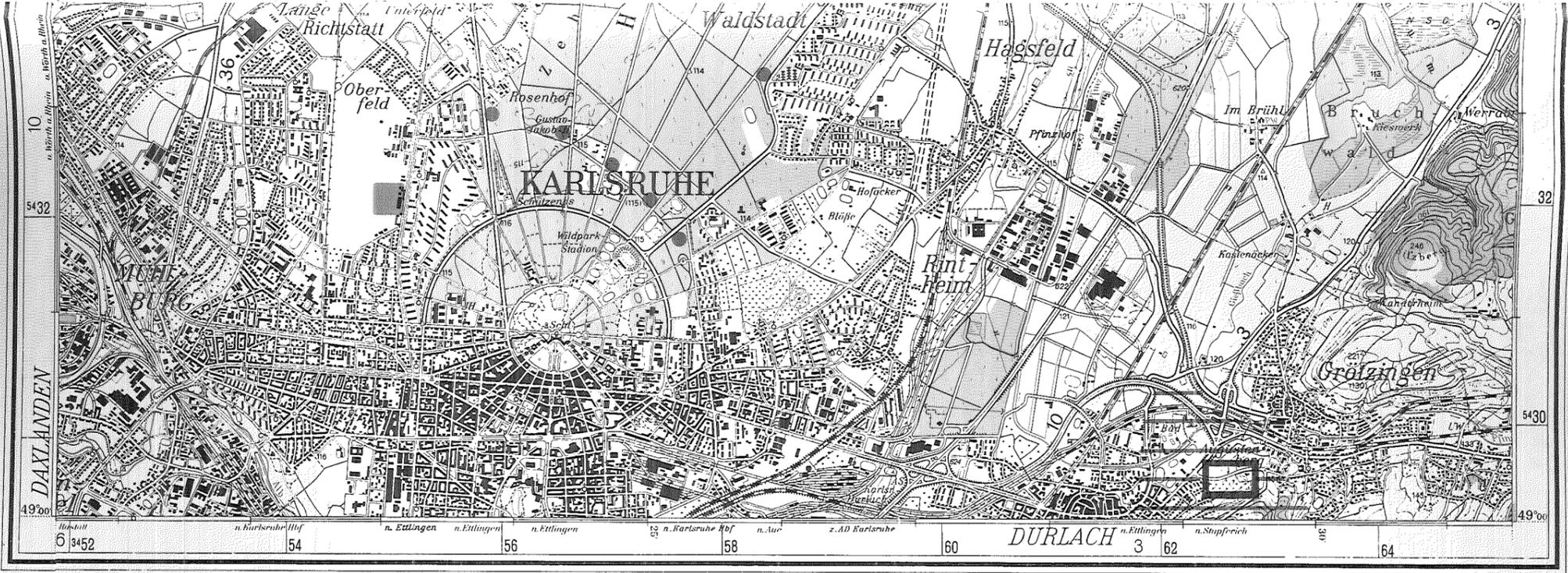
"Umgebungsüberwachung", Normenausschuß Kerntechnik des DIN (Piesch)

"Umschlossene Strahler", Normenausschuß Kerntechnik des DIN (Doerfel)

"Umweltüberwachung", Arbeitskreis des Fachverbandes für Strahlenschutz (Winter)

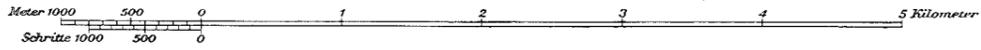






## Legende

Bearbeitungsstand März 1986



Ausschnitt aus der topographischen Karte L 6916, Karlsruhe-Nord; mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg

- |  |                      |  |  |  |                   |  |   |  |                              |
|--|----------------------|--|--|--|-------------------|--|---|--|------------------------------|
|  | Zählrohraußenstation |  | Trinkwasser (Wasserwerke)                        |  | Oberflächenwasser |  | Vorflutkanal der Abwässer des KfK zum Altrhein          |  | Boden                        |
|  | Festkörperdosimeter  |  | Grundwasser (Brunnen)                            |  | Schlamm           |  | Verlauf der als Vorfluter dienenden Oberflächengewässer |  | Landwirtschaftliche Produkte |
|  | Aerosole             |  | kontinuierliche Probenahme von Oberflächenwasser |  | Fisch             |  |   |  | Hauptwindrichtungs-sektoren  |

## Lageplan der Meß- und Probenahmestellen zur Umgebungsüberwachung des Kernforschungszentrums Karlsruhe