

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

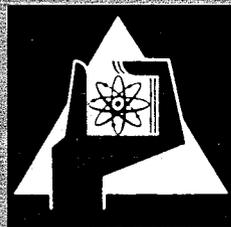
Februar 1971

KFK 1365

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

**JAHRESBERICHT 1970**

Redaktion: H. Kiefer, W. Koelzer



**GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.  
KARLSRUHE**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Februar 1971

KFK 1365

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

JAHRESBERICHT 1970

Redaktion: H. Kiefer, W. Koelzer

Beiträge von:

B. Burgkhardt, W. Comper, E. Dietrich, H. Elbel,  
H. Edelhäuser, H. Fessler, K. Gerlach, W. Helm,  
W. Hübschmann, H. Kiefer, W. Koelzer, L. König,  
H. Lenhardt, H.R. Michel, D. Nagel, K. Nester,  
J. Pawelzik, E. Piesch, W. Reuble, H.-G. Röber,  
H. Roock, A. Schmitt, H. Schüttelkopf, G. Stäblein,  
W. Stock, J.G. Wilhelm, E. Windbühl, M. Winter

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe



Frl. U. Sparr sind wir für die Mithilfe bei der Erstellung des Berichts zu grossem Dank verpflichtet.

### *Zusammenfassung*

Die Durchführung und Gewährleistung des Strahlenschutzes und der technischen Sicherheit auf konventionellem und nuklearem Gebiet im Kernforschungszentrum Karlsruhe obliegt der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit.

Der vorliegende Bericht informiert über die einzelnen Aufgabengebiete, gibt die Ergebnisse der Routinemessungen im Jahre 1970 wieder und berichtet über neue Untersuchungsergebnisse und Entwicklungen der verschiedenen Arbeitsgruppen der Abteilung.

### *Abstract*

Performing and safeguarding radiation protection and technical safety in the conventional and nuclear fields at the Karlsruhe Nuclear Research Center are duties of the Radiation Protection and Safety Department.

This report informs about the different duties, lists the results of routine measurements of 1970, and covers recent results of investigations and developments in the Working Groups of the Department.

### *Résumé*

L'exécution et la garantie de la radioprotection et de la sécurité technique classique et nucléaire du Centre d'Etudes Nucléaires de Karlsruhe rentrent dans la compétence du Service "Radioprotection et Sécurité".

Ce rapport décrit les différents secteurs d'activité, résume les résultats des mesures routinières faites en 1970 et donne des renseignements relatifs aux nouveaux résultats d'études et aux réalisations des différents groupes de travail du Service.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
1. Aufgabengebiete und Organisation der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit	1
2. Administrative Aufgaben	7
2.1 Meldestelle	7
2.2 Sicherheitsingenieur - Strahlenschutz	9
2.2.1 Aufgaben im Rahmen der Überwachung der Strahlenschutzsicherheit	9
2.2.2 Aufgaben der Personendosiskartei	11
2.3 Einsatzwesen	14
2.4 Sicherheitsingenieur - konventioneller Bereich	17
2.4.1 Pflichtenübertragung aufgrund des § 775 der Reichsversicherungsordnung	17
2.4.2 Information und Ausbildung	19
2.4.3 Betriebsüberwachung, besondere Schadensfälle	20
2.5 Räumungsplan	21
2.6 Allgemeine Aufgaben	24
3. Strahlenschutzüberwachung	26
3.1 Arbeitsplatzüberwachung	26
3.2 Dichtigkeitsprüfungen	35
3.3 Überwachung der Ableitungen	35
3.3.1 Abwasserüberwachung	35
3.3.2 Abluftüberwachung	43
3.4 Umgebungsüberwachung	44
3.5 Personenüberwachung	60
3.5.1 Externe Dosis	60
3.5.2 Inkorporationsmessungen	62

	Seite
4. Strahlenschutzmeßmethoden	65
4.1 Dosisleistungsmessungen	65
4.1.1 Verhalten von Dosisleistungsmeßgeräten in starken Magnetfeldern	65
4.1.2 Verhalten von Dosisleistungsmeßgeräten bei gepulster Strahlung	65
4.1.3 Neutronenmessungen im Strahlenkegel eines 18 MeV-Betatrons	66
4.1.4 Dosisleistungsmessung mit einem Groß- flächen-Durchflußzähler in Verbindung mit einem elektrostatischen Relais	69
4.2 Dosimetrie	69
4.2.1 Phosphatglasdosimetrie	69
4.2.1.1 Differentielle Auswertung von Phosphat- gläsern in der Personendosimetrie	69
4.2.1.2 Methoden einer Personendosimetrie mit Phosphatgläsern	72
4.2.2 Änderung der Dosisempfindlichkeit bei LiF-Dosimetern	73
4.2.3 Neutronenaktivierungsdosimeter	75
4.2.4 Festkörperspurendetektor	79
4.2.4.1 Auszählung von Rückstoßkernen und $\alpha$ -Teilchen in Makrofol E	79
4.2.4.2 Neutronennachweis in Makrofol E	81
4.2.5 Verbesserungen in der Neutronen- Unfalldosimetrie	83
4.2.6 Dosimeter-Vergleichsmessungen	85
4.3 Messung von Einzelnucliden	86
4.3.1 Diskontinuierliche Messung von $^{85}\text{Kr}$	86
4.3.2 Kontinuierliche Messung von $^{85}\text{Kr}$	87
4.3.3 Meßmethoden für $^{131}\text{J}$	87
4.3.4 $\alpha$ -Spektroskopie	89
4.3.5 Methode zur Messung der mittleren Breite einer $^{41}\text{Ar}$ -Abluftfahne	90
4.3.6 Luftfeuchte-Probensammlung mit Trockenmitteln	92

	Seite
5. Strahlenschutzmeßgeräte	93
5.1 Reparatur von Strahlenschutzmeßgeräten	93
5.2 Wartung von Dosisleistungsmeßgeräten	94
5.3 Wartung von Überwachungsanlagen	95
5.4 Erprobung neuer Geräte	96
5.5 Elektronische Entwicklungen	99
5.5.1 MeBelektronik für $\beta$ -Hochdosissonde	99
5.5.2 MeBelektronik für die differentielle Abtastung von Glasdosimetern	99
5.5.3 Ein Eichgenerator zur Überprüfung von Hochdosis-Meßstellen	102
5.5.4 Abschaltautomatik für Eindampfanlagen	103
5.6 Entwicklung eines Prototyp-Jodmonitors	105
6. Jodfilterprogramm	110
6.1 Entwicklung von Spaltjodadsorbern auf anorganischer Basis	110
6.2 Abscheidungseigenschaften verschiedener AgNO <sub>3</sub> -imprägnierter Katalysatorträger gegenüber $^{131}\text{J}$ in Form von CH <sub>3</sub> $^{131}\text{J}$	111
6.3 Abhängigkeit der Durchlässigkeit von CH <sub>3</sub> $^{131}\text{J}$ von der Menge der AgNO <sub>3</sub> -Imprägnierung	113
6.4 Durchlässigkeit für $^{131}\text{J}$ in Form von CH <sub>3</sub> $^{131}\text{J}$ als Funktion der relativen Luft- feuchte	113
6.5 Abscheidegrade gegenüber $^{131}\text{J}$ in Form von elementarem Jod in Abhängigkeit von der Beladung	116
6.6 Einfluß der Temperatur auf den Abscheide- grad für $^{131}\text{J}$ in Form von CH <sub>3</sub> $^{131}\text{J}$	119

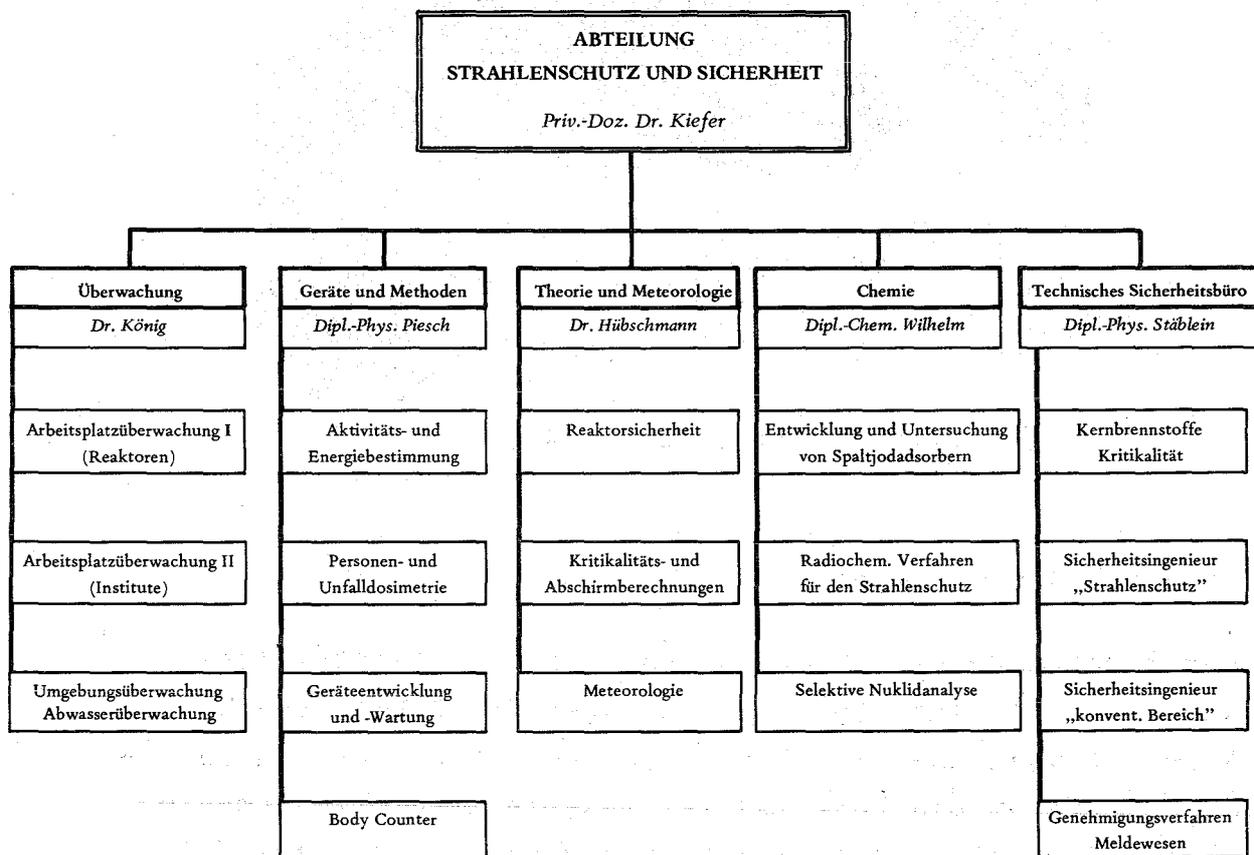
	Seite
6.7 Alterung eines AgNO <sub>3</sub> -imprägnierten Katalysatorträgers in NO <sub>2</sub>	119
6.8 Einfluß von Heißdampf auf den Abscheidegrad	121
6.9 Desorption von <sup>131</sup> I von verschiedenen Adsorbentien bei höherer Temperatur	123
6.10 Alterung von Spaltjod-Adsorbentmaterialien	125
6.11 Atemfilter zur Abscheidung von Spaltjod	134
7. Theoretische Behandlung von Strahlenschutzfragen	137
7.1 Aktivitätsberechnungen	137
7.1.1 Ausgangsdaten für die Inventarurteilung eines Brennelements nach einer Standzeit von 3 Jahren	137
7.1.2 Aktivität von Spaltnukliden	137
7.1.3 Die Spaltjodaktivität in einem Sicherheitsbehälter und die Filteraktivität beim Betrieb eines Umluftsystems nach einem GAU	139
7.2 Dosisleistungs- und Abschirmberechnungen	143
7.2.1 Abschirmung für die Heiße Zellen-Anlage VERA	143
7.2.2 Dosisleistung in der Umgebung eines mit radioaktivem Abfall gefüllten Rollreifensfasses	146
7.2.3 Dosisleistung an einer Faßkammer für radioaktiven Abfall	146
7.2.4 Zusatzabschirmung des FRF	147
7.2.5 Strahlenbelastung bei einem Tankwechsel des FR 2	150
7.3 Rechenprogramme	152
7.3.1 Numerische Berechnung der Konzentrationsverteilung	152
7.3.2 Auswertung meteorologischer Daten	153
7.3.3 Auswertung von Ausbreitungsversuchen	157
7.3.4 Gamma-Dosisleistung an der Oberfläche einer mehrschichtigen Abschirmung für Zylindergeometrie	157

	Seite
8. Meteorologie	158
8.1 Dynamische Eigenschaften der Schalenstern-Anemometer	158
8.2 Auswertung der Ausbreitungsversuche	161
9. Umweltbelastung und Umweltschutz	166
9.1 Aktivitätsabgabe eines schnellen Testreaktors an die Atmosphäre	166
9.2 Auswirkung einer größeren Kohlenmonoxid- Freisetzung auf die Bevölkerung einer Großstadt	168
10. Bibliographie	172
10.1 Veröffentlichungen 1970	172
10.2 ASS-Berichte 1970	176

# 1. Aufgabengebiete und Organisation der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

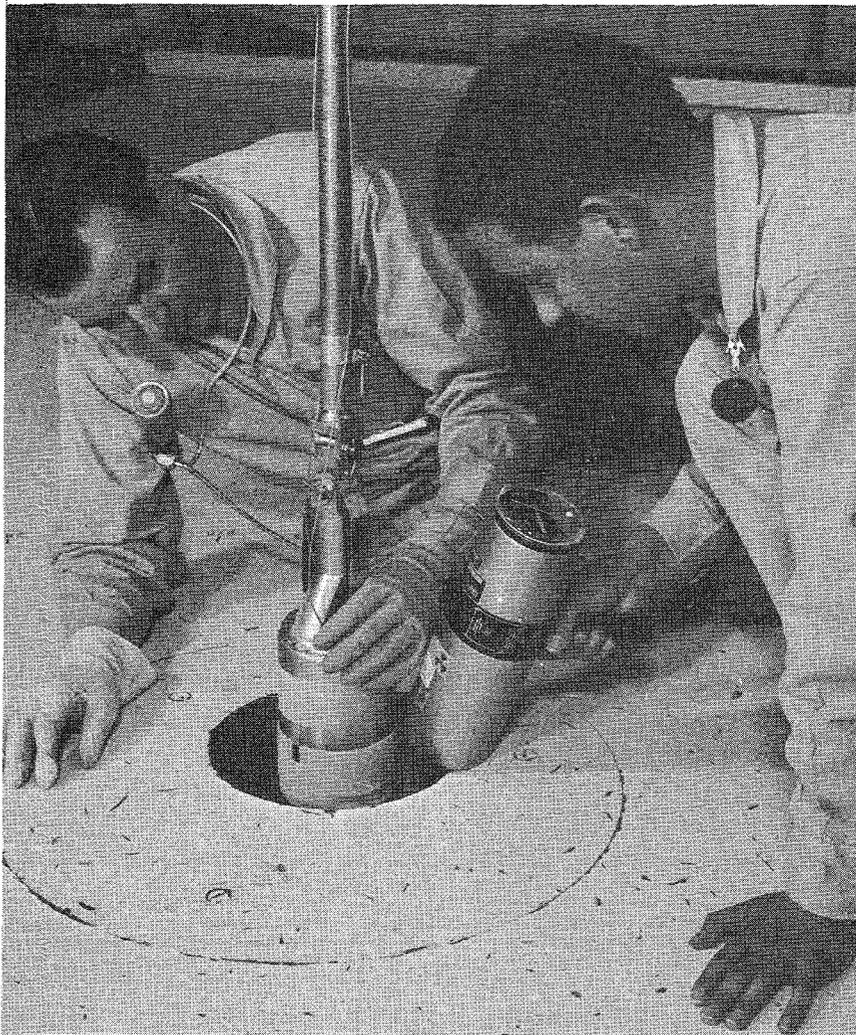
H. Kiefer, W. Koelzer

Verantwortlich für den Strahlenschutz und die technische Sicherheit im Kernforschungszentrum Karlsruhe ist der Sicherheitsbeauftragte der Gesellschaft für Kernforschung. Ihm untersteht die in fünf Bereiche gegliederte Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit.



## Organisationsplan der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit gehörten am 31.12.1970 137 Mitarbeiter an, darunter 19 Akademiker sowie 13 Abiturientinnen, die eine zweijährige Berufsausbildung als Strahlenschutzassistentinnen erhalten.



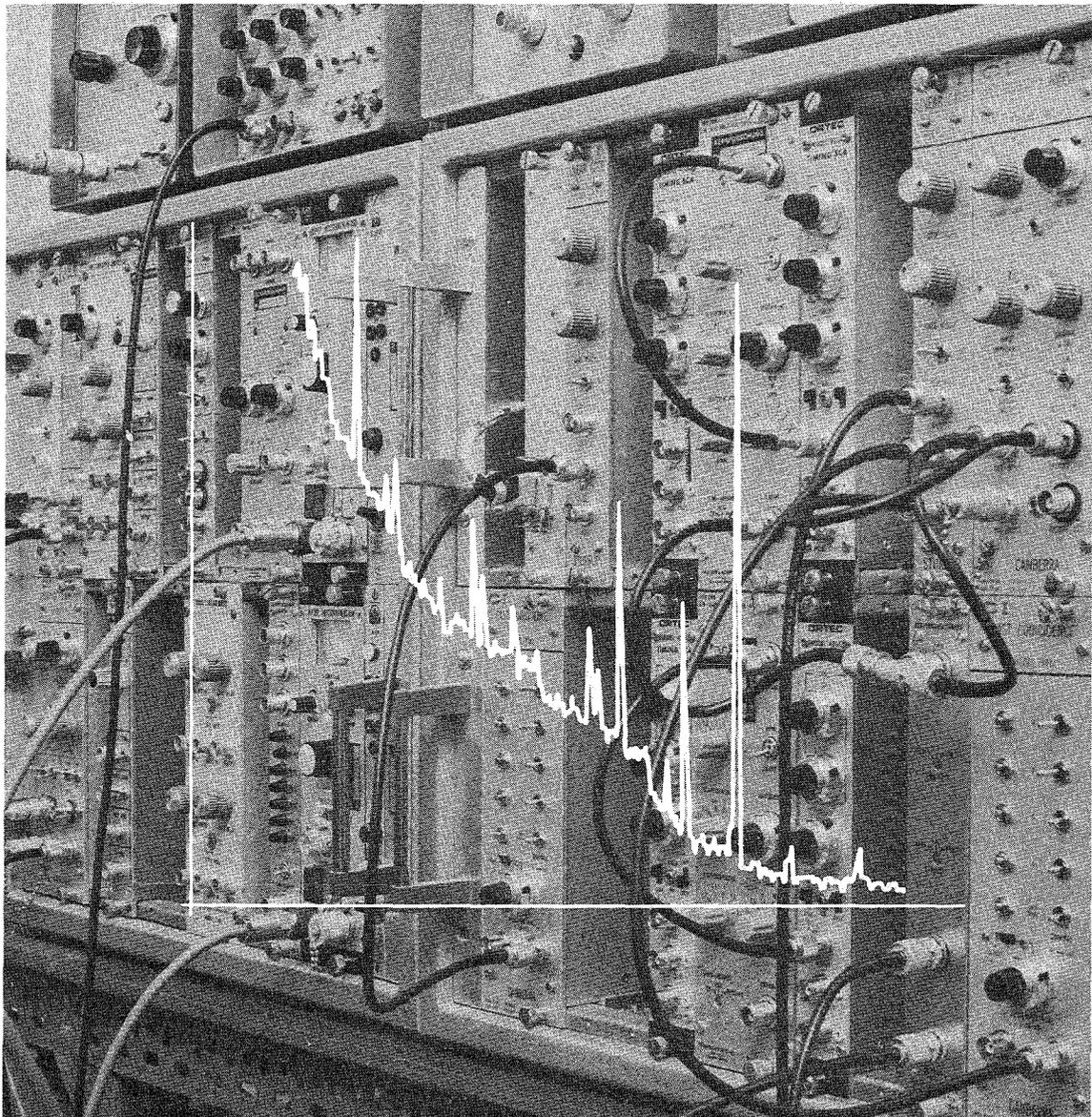
Dosisleistungsmessung am FR 2

### Bereich "Überwachung"

Dem Bereich "Überwachung" obliegt der Routinestrahenschutz in den Instituten und Anlagen der Gesellschaft für Kernforschung und die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe in die Luft für das gesamte Kernforschungszentrum. Hinzu kommt die Umgebungsüberwachung, die zum Teil mit vollautomatischen Anlagen Messungen der Radioaktivität in Luft, Wasser, Boden und biologischem Material in einem Umkreis von 10 km durchführt. Eine weitere wesentliche Aufgabe ist die laufende Kontrolle aller anfallenden Abwässer auf Radioaktivität.

## Bereich "Geräte und Methoden"

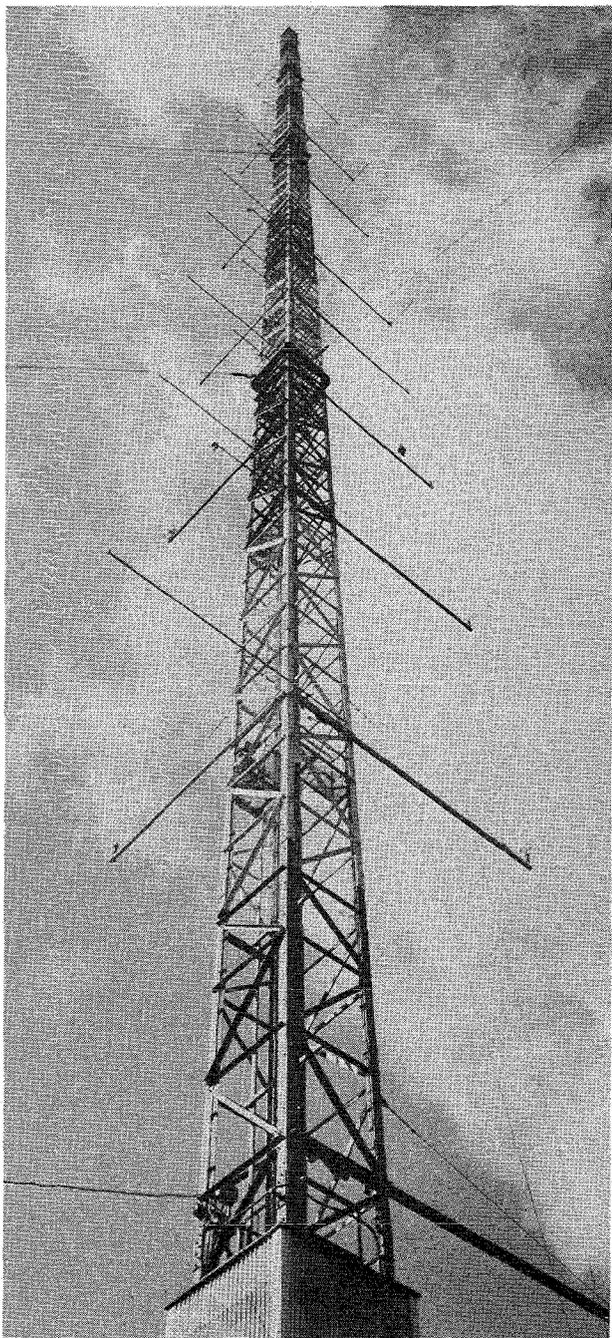
Die Hauptaufgabe des Bereiches "Geräte und Methoden" ist die Entwicklung, Erprobung und der Test von Strahlenschutzmeßverfahren und -geräten. Kalibrierung und Wartung aller Strahlenschutzmeßgeräte, Dichtigkeitsprüfungen umschlossener radioaktiver Stoffe, der Betrieb eines Hochdosisstandes und eines Ganzkörperzählers zur Inkorporationskontrolle sind weitere Aufgaben. In der Gruppe Dosimetrie werden Glasdosimeter und Unfalldosimeter zur Personenüberwachung weiterentwickelt und alle Mitarbeiter mit derartigen Dosimetern routinemäßig überwacht.



$\gamma$ -Spektroskopie

## Bereich "Theorie und Meteorologie"

In diesem Bereich werden Strahlenschutz- und Sicherheitsfragen theoretisch untersucht. Dazu gehören insbesondere Fragen der Reaktorsicherheit im Zusammenhang mit Sicherheitsberichten, Kritikalitätsüberlegungen beim Transport und bei der Lagerung von Kernbrennstoffen und Abschirmbe-



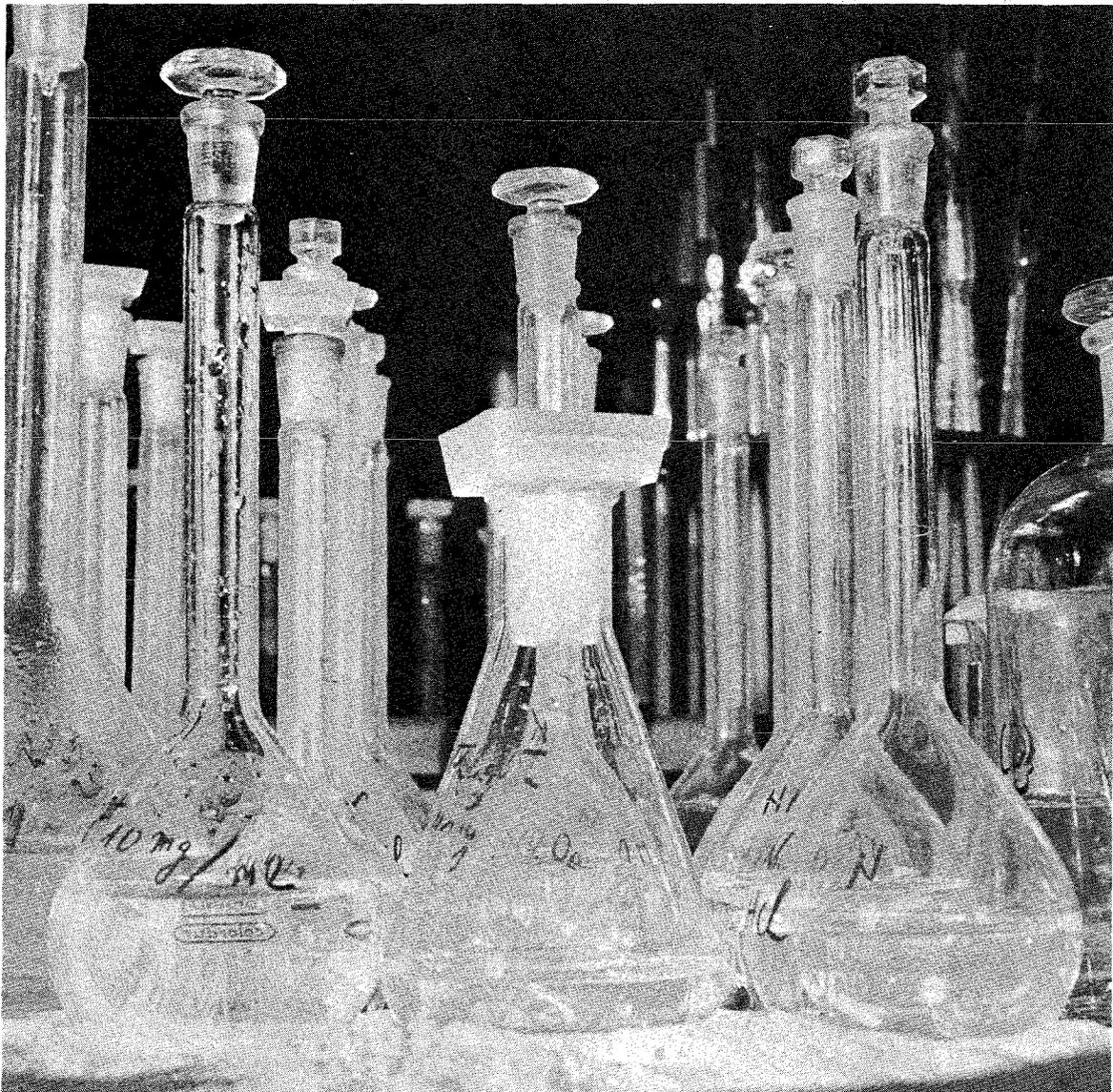
rechnungen. Von besonderer Bedeutung sind die Berechnungen der Ausbreitung radioaktiver Aerosole, Dämpfe und Gase und der dadurch hervorgerufenen radiologischen Belastung im Normalfall und bei Unfällen. Zur Ermittlung der erforderlichen zahlreichen meteorologischen Daten und Parameter betreibt die meteorologische Gruppe dieses Bereichs einen 200 m hohen Meßmast. Zur Verdichtung und Verarbeitung der anfallenden Daten der über 50 Meßgeräte ist ein Prozeßrechner eingesetzt, der an die Datenverarbeitungszentrale des Kernforschungszentrums angeschlossen ist.

200 m Meßmast

Die gewonnenen Untersuchungsergebnisse liefern einen Beitrag zum allgemeinen Problem der Luftreinhalteung und des Umweltschutzes.

## Bereich "Chemie"

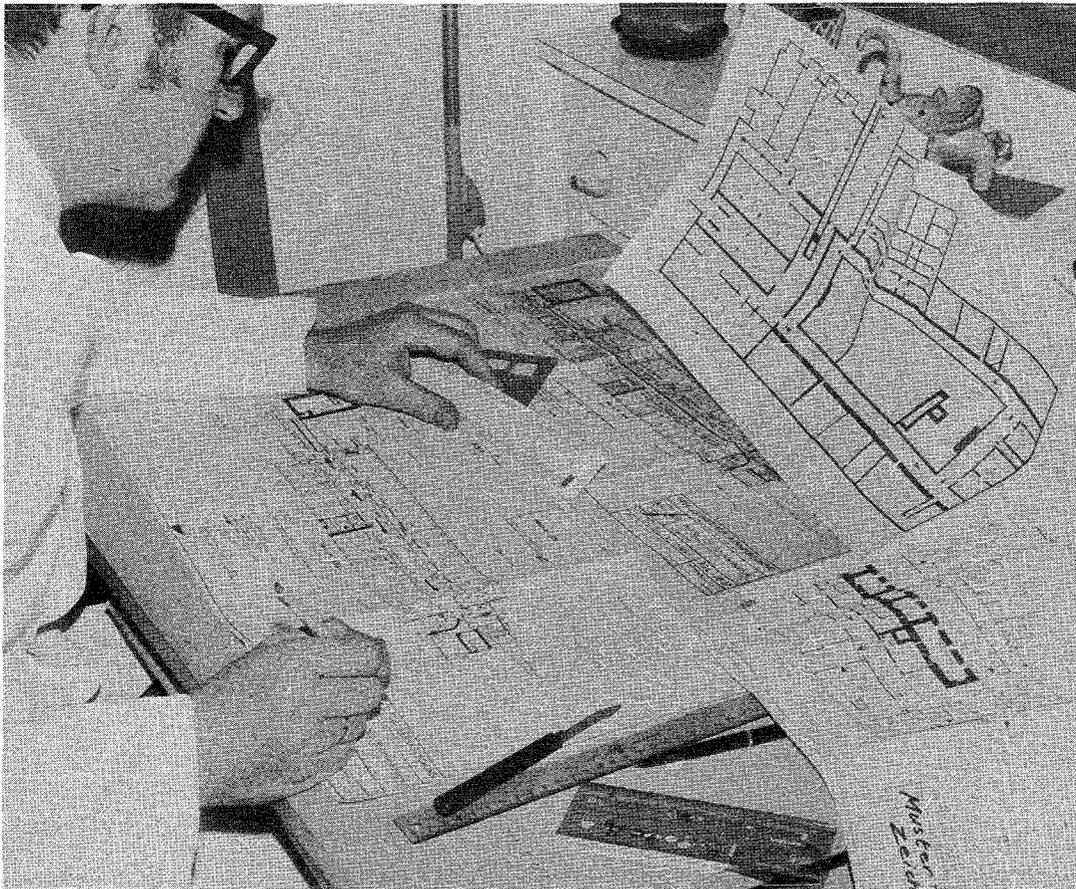
Der Bereich "Chemie" widmet sich besonders der Untersuchung, Erprobung und Entwicklung von Spaltjod-Adsorbermaterialien und -Filtern und führt vor-Ort-Prüfungen an bestehenden Reaktorjodfilteranlagen durch. Hinzu kommen die Prüfung und Erprobung radiochemischer Verfahren - insbesondere der Schnellverfahren - für Strahlenschutz Zwecke und die Durchführung radiochemischer Arbeiten innerhalb der Gesamt-Abteilung.



Plutonium-Analyse

## Bereich "Technisches Sicherheitsbüro"

Das "Technische Sicherheitsbüro" führt alle administrativen Maßnahmen zur Wahrung der konventionellen und nuklearen Sicherheit durch. Dazu gehören die Prüfung von Erfordernis und Umfang von Genehmigungen sowie die Überwachung der Einhaltung aller die technische Sicherheit betreffenden Gesetze, Verordnungen, Auflagen und Regeln der Technik. Zu diesem Zweck werden u. a. Karteien über die Personendosis der Beschäftigten, die radioaktiven Stoffe und Kernbrennstoffe geführt. Außerdem werden die Geschäfte des Sicherheitsbeirats des Kernforschungszentrums wahrgenommen.



Einsatzplanung

## 2. Administrative Aufgaben

Das Technische Sicherheitsbüro der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit führt alle zentralen administrativen Maßnahmen zur Wahrung der konventionellen und nuklearen Sicherheit durch.

### 2.1 Meldestelle

#### W. Stock

Die Meldestelle ist für die Überwachung, Erfassung und Meldung von radioaktiven Stoffen und Kernbrennstoffen sowie Schwerwasser zuständig. In Erfüllung der Meldepflichten werden nachfolgende Berichte erstellt:

#### - Monatsberichte

Ausgangsstoffe und besondere spaltbare Stoffe

an: **Direktion für Sicherheit und Eigentum, EURATOM**  
**Bundesamt für gewerbliche Wirtschaft**  
**Arbeits- und Sozialministerium Baden-Württemberg**  
**Gewerbeaufsichtsamt Karlsruhe**

radioaktive Stoffe

Erzeugung radioaktiver Stoffe

an: **Gewerbeaufsichtsamt Karlsruhe**

#### - Quartalsberichte

Schwerwasser

an: **Direktion für Sicherheit und Eigentum, EURATOM**

Verlust und Verbrauch von Kernbrennstoffen kanadischen Ursprungs

an: **Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft**

- Halbjahresberichte

Abbrandberechnung der von der USAEC gepachteten Kernbrennstoffe

an: EURATOM-Versorgungsagentur

Anfall an radioaktiven Abfällen im Abfallager der GfK  
Erzeugung radioaktiver Stoffe

an: Arbeits- und Sozialministerium Baden-Württemberg  
Gewerbeaufsichtsamt Karlsruhe

umschlossene radioaktive Stoffe

an: Landesinstitut für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Karlsruhe

- Jahresberichte

Bestand an radioaktiven Stoffen mit Halbwertszeiten von  
über 100 Tagen

Bestand an radioaktiven Abfällen im Abfallager

an: Arbeits- und Sozialministerium Baden-Württemberg  
Gewerbeaufsichtsamt Karlsruhe

- Sofortberichte

Ein- und Ausfuhr von Ausgangsstoffen und besonderen spaltbaren Stoffen der Gemeinschaft

außergewöhnliche Verluste an Ausgangsstoffen und besonderen spaltbaren Stoffen

anomale Verluste an Schwerwasser

an: Direktion für Sicherheit und Eigentum, EURATOM

Im Jahre 1970 wurden insgesamt 662 Berichte erstellt.

Die Meldestelle überwacht und begleitet außerdem Plutonium-Transporte innerhalb des Kernforschungszentrums - 614 im Jahre 1970 - und überprüft alle Plutonium-Ein/Ausgänge.

## 2.2 Sicherheitsingenieur - Strahlenschutz

H. Roock

### 2.2.1 Aufgaben im Rahmen der Ueberwachung der Strahlenschutzsicherheit

Grundlage der Überwachungstätigkeit sind die allgemein gültigen Gesetze und Verordnungen, wie Atomgesetz und Erste Strahlenschutzverordnung und die für die jeweiligen Institute und Abteilungen gültigen speziellen Auflagen aus den amtlichen Bau-, Betriebs-, Umgangs-, Transport- und Lagergenehmigungen. Als Bestandteil der Genehmigungen gelten auch die Sicherheitsberichte. Hinzu kommen weitere interne Vorschriften.

Begehungen der Institute und Abteilungen werden wenigstens einmal jährlich, bei Bedarf und bei besonderen Vorkommnissen öfter vorgenommen. Hierbei wird insbesondere auf Strahlenschutzsicherheit und auf Einhaltung der Behördenauflagen geachtet. Sollten sich Beanstandungen ergeben, so werden sie den zuständigen Verantwortlichen zur Kenntnis gebracht. Neben diesen internen Begehungen finden Kontrollen durch Vertreter der Aufsichtsbehörden statt, bei denen ASS/TSB die organisatorischen Aufgaben zufallen.

1970 fanden 66 Begehungen zur Oberprüfung von Strahlenschutzmaßnahmen statt. Hierbei ergaben sich 156 Beanstandungen.

Unterstützung der Strahlenschutzverantwortlichen wird neben den Betriebsbegehungen noch in den folgenden Punkten durchgeführt:

- Stellung von Genehmigungsanträgen oder Erweiterungen für bereits vorhandene Genehmigungen an die zuständige Genehmigungsbehörde
- Beratung bei der Einrichtung und Abgrenzung von Kontrollbereichen und bei der Erfüllung von Behördenauflagen

- Beschaffung von Arbeitsunterlagen
- Organisation und Koordination von Sachverständigenprüfungen
- Bearbeitung von Schadensfällen.

Die Bestellungen von Strahlenschutzverantwortlichen, deren Stellvertretern und von Bereichsstrahlenschutzverantwortlichen werden vorbereitet. Die Bestellung im Sinne von § 20 der 1. Strahlenschutzverordnung erfolgt nach folgenden Grundsätzen:

- Zum Strahlenschutzverantwortlichen (SSV) wird der Institutsleiter oder Abteilungsleiter einer Institution innerhalb der Gesellschaft für Kernforschung bestellt, für die infolge Umgangs mit radioaktiven Stoffen oberhalb der Freigrenzen nach Anlage 1 der 1. Strahlenschutzverordnung eine Umgangs- oder Betriebsgenehmigung erforderlich ist.
- Zur Vertretung des SSV können ein oder mehrere Stellvertreter bestellt werden, die den SSV bei dessen Abwesenheit im gesamten Zuständigkeitsbereich nach außen hin vertreten. Durch institutsinterne Regelungen können mehreren Stellvertretern unterschiedliche Zuständigkeitsbereiche zugeordnet werden.
- Zur Unterstützung des SSV können Bereichsstrahlenschutzverantwortliche bestellt werden, die ständig, also auch bei Anwesenheit des SSV, Strahlenschutzverantwortung tragen und dem SSV gegenüber verantwortlich sind. Die Bestellung eines Bereichsstrahlenschutzverantwortlichen wird erforderlich bei vom Institut räumlich getrennten Bereichen, sie ist wünschenswert für große selbständige Arbeitsgruppen.

Zur Zeit sind bei der GfK - ohne Geschäftsbereich Versuchsanlagen - bestellt:

Strahlenschutzverantwortliche	25 Personen
Stellvertreter des SSV	42 Personen
Bereichsstrahlenschutzverantwortliche	20 Personen

### 2.2.2 Aufgaben der Personendosiskartei

Die Grundlagen der Personendosiskartei sind die nachfolgend aufgeführten Vorschriften und Verordnungen:

- Überwachung auf Überschreitung der höchstzulässigen Personendosen, §§ 25, 27 1. SSV0
- Aufbewahrung der Meßergebnisse der Personendosimetrie, § 36 (3) 1. SSV0
- Aufbewahrung der Inkorporationsmeßergebnisse, § 37 1. SSV0
- Aufzeichnung und Aufbewahrung der Strahlenschutzbelehrungen, § 41 (3) 1. SSV0
- Überwachung der Einhaltung der Fristen für die ärztliche Untersuchung, § 46 (2), (3) 1. SSV0
- Aufbewahrung der ärztlichen Bescheinigungen, § 47 1. SSV0
- Überwachung auf Dosisüberschreitung und auf Termineinhaltung bei der ärztlichen Untersuchung
- Aufzeichnung der Belehrungstermine nach § 41 (3) 1. SSV0.

In der Kartei werden erfaßt:

#### Personengruppen

- alle Mitarbeiter der GfK des Geschäftsbereichs Forschung soweit sie einer der Dosimetriegruppen I bis IV angehören
- diejenigen Fremdfirmenangehörigen, die aufgrund ihrer Tätigkeit in Kontrollbereichen in die Dosimetriegruppen I bis III eingestuft wurden
- in Kontrollbereichen tätige Gäste
- Teilnehmer an Kursen der Schule für Kerntechnik
- Einsatztruppmitglieder, die bei Einsätzen zusätzliche Dosimeter tragen

Daten

- Angaben zur Person
- Lebensalterdosis
- Höchstzulässige Lebensalterdosis
- Untersuchungstermine
- Belehrungstermine
- Personendosen, monatlich  
(Film-, Glas- und Stabdosisimeter)
- 13-Wochen-Dosen und Jahresdosis
- Datum und Ergebnis von Inkorporationsmessungen
- Termine für ärztliche Untersuchung, Inkorporations-  
messung und Belehrung
- Dosimetergruppe.

Die Einordnung in die verschiedenen Dosimetergruppen erfolgt nach folgenden Kriterien:

- Ia : a) Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen,  
b) Umgang mit  $\gamma$ -strahlenden Stoffen oder  
Röntgenstrahlung mit Energien  $< 45$  keV.
- Ib : Möglichkeit der Strahlenbelastung mit schnellen  
Neutronen (schließt Ia mit ein).
- II : a) Umgang mit umschlossenen radioaktiven Stoffen  
mit  $\gamma$ -Strahlung  $> 45$  keV,  
b) Reaktorpersonal, das bei der geplanten Arbeit  
nicht kontaminiert wird.
- III : Kein Umgang mit radioaktiven Stoffen, höchstens  
40 Stunden pro Monat Aufenthalt im Kontrollbereich,  
erwartete Jahresdosis  $< 1,5$  rem.
- IV : Alle nicht in Gruppe I bis III fallenden Mitarbeiter.

In den Dosimetergruppen werden folgende Dosimeter getragen (Tab. 1):

Tab. 1

Dosimeter- gruppe	amtliche Meßstelle			Eigen-Überwachung	
	γ-Film	n-Film	Glas	Glas	Stab
Ia	x			0	x
Ib	x	x		0	x
II			x	0	x
III				x	x
IV				0	

x = Überwachung aufgrund von Vorschriften

0 = freiwillige zusätzliche Eigenüberwachung

Die Tabelle 2 zeigt die prozentuale, auf die Gesamtmitarbeiterzahl, einschließlich Fremdfirmenangehörige, bezogene Einstufung in die Dosimetergruppen.

Ia	Ib	II	III	IV
14,4 %	9,4 %	13,0 %	14,6 %	48,6 %

Tab. 2: Einstufung in die Dosimetergruppen

### 2.3 Einsatzwesen

W. Reuble

Das Technische Sicherheitsbüro versorgt alle Einsatzdienste mit den erforderlichen Informationen und Unterlagen wie Alarm- und Brandbekämpfungsplänen, Beschreibungen bzw. Betriebsanleitungen besonderer Anlagen und Plänen aller Versorgungseinrichtungen. Weiterhin wird die Ausbildung überwacht bzw. selbst durchgeführt. Insbesondere werden die Einsatzleiter vom Dienst geschult durch Unterweisung in der Funktion und den zu treffenden Maßnahmen bei Störungen von Maschinen und Einrichtungen sowie durch Ortsbegehungen.

Gemäß behördlicher Auflage, aber auch in Vervollständigung der Unterlagen mit sicherheitstechnischen Angaben für die Einsatzdienste hat jede Institution auf dem Gelände des Kernforschungszentrums Karlsruhe einen Brandbekämpfungsplan für die Gebäude bzw. Anlagen ihres Zuständigkeitsbereichs zu erstellen. Der Brandbekämpfungsplan soll eine klare Information über die Örtlichkeit und ihre Versorgungseinrichtungen sowie über eventuelle Gefahrenherde und Rettungsmöglichkeiten geben.

Die einzelnen Institutionen sind aufgefordert, die Angaben zur Brandbekämpfung nach einer vom Technischen Sicherheitsbüro ausgearbeiteten Gliederung festzulegen. Aufgabe des Technischen Sicherheitsbüros ist es, hierbei beratend und redigierend mitzuwirken. Von 25 Objekten liegen textliche Unterlagen vor.

Als Ergänzung der textlichen Angaben zur Brandbekämpfung dienen schematische Grundrißzeichnungen der Gebäude und Anlagen im Maßstab 1:200. Als Vorlage für die Anfertigung dieser Gebäudepläne wurden ein GfK-Normblatt (siehe Abbildung 1) sowie die zu verwendenden Symbole und Abkürzungen festgelegt.

Das Technische Sicherheitsbüro überwacht die Einsatzbereitschaft und veranlaßt den Ausbau der Kommunikationsmittel für die Sicherheitsdienste entsprechend den Erfordernissen durch die fortschreitende Entwicklung des Kernforschungszentrums. Hierzu gehören:

- das Netz der Notrufvermittlung (Rote Telefone)

mit 50 Anschlüssen direkt zur Alarmzentrale.

Die Roten Telefone dienen der Alarmzentrale und dem Einsatzleiter zur Alarmierung und Informationsübermittlung.

- die drahtlose Personenrufanlage (UKW-Ruf)

mit zur Zeit 26 Teilnehmern. Damit können Personen, die über Telefon nicht erreicht werden können, im Alarmfall benachrichtigt werden.

- das Sprechfunknetz

mit zur Zeit 40 Geräten auf 3 verschiedenen Frequenzen. Damit wird eine ständige Verbindung zwischen Zentrale, Einsatzleiter und den im Einsatz befindlichen Einsatztrupps ermöglicht.

- die Lautsprecheranlage

in allen Instituten und Abteilungen. Sie dient im Alarmfall dazu, Gebäude gemeinsam oder einzeln anzusprechen.

Neben den Richtlinien für die Benutzung der Notrufvermittlung und der UKW-Personenrufanlage wurde die Betriebsanleitung für die Handsprechfunkgeräte neu erstellt und mit überarbeitetem Teilnehmerverzeichnis verteilt. Entsprechend dem Ausbau der übrigen Anlagen mußten auch deren Teilnehmerverzeichnisse überarbeitet und neu verteilt werden.



## 2.4 Sicherheitsingenieur - konventioneller Bereich

### E. Windbühl

#### 2.4.1 Pflichtenübertragung aufgrund des § 775 der Reichsversicherungsordnung

Der Unternehmer darf die ihm obliegende Verpflichtung zur Beachtung der Unfallverhütungsvorschriften auf Angehörige seines Unternehmens durch schriftliche Erklärung übertragen. Die Übertragung der Pflichten wird überall da zur Pflicht, wo die Größe des Betriebes oder der Umfang der Arbeiten dem Unternehmer keine ausreichende persönliche Überwachung mehr gestattet. Sofern und soweit der Unternehmer die ihm obliegenden Pflichten gem. § 775 RVO auf Angehörige seines Unternehmens übertragen hat, trifft an Stelle des Unternehmers den jeweils Beauftragten die Strafe, wenn der Beauftragte durch sein Tun oder Unterlassen vorsätzlich oder fahrlässig Vorschriften zuwider handelt, die den Unternehmer mit Strafe bedrohen.

Die Übertragung der Pflichten entbindet den Unternehmer jedoch nicht vollends von seiner unternehmerischen Verantwortung. Abgesehen davon, daß es seine selbstverständliche menschliche und moralische Pflicht ist, mit allen zu Gebote stehenden Mitteln für die Unfallsicherheit seines Unternehmens zu sorgen, so ist es eine vorsätzliche oder fahrlässige Verletzung seiner Pflicht, wenn er bei der Auswahl des Personenkreises nicht die notwendige Sorgfalt walten lassen.

Die allgemeine strafrechtliche Verantwortlichkeit des Unternehmers für eigenes strafrechtliches Verschulden bleibt von der Pflichtenübertragung nach § 775 der RVO unberührt.

Auch die betrieblichen Führungskräfte werden nicht erst aufgrund von schriftlichen Pflichtenübertragungen nach der RVO strafrechtlich für die Sicherheit am Arbeitsplatz verantwortlich und damit zur Abwendung von Gefahren für Leib und Leben ihrer Mitarbeiter verpflichtet. Eine solche Verantwortung ergibt sich für sie schon aus ihrer Stellung im Betrieb.

Bei der Pflichtenübertragung sind zwei Personenkreise, Betriebsleiter und Aufsichtspersonen zu unterscheiden.

Soweit es sich um die Schaffung und Erhaltung von Einrichtungen in betriebssicherem Zustand handelt, ist die Übertragung auf Personen beschränkt, die der Unternehmer zur Leitung des Betriebes oder eines Betriebsteiles bestellt hat. Unter Einrichtungen sind insbesondere unter Aufwendungen von Kosten zu erstellende bauliche, elektrische und maschinelle Sicherheitsvorkehrungen, nicht nur provisorischer Art zu verstehen, die ein unfallsicheres Arbeiten im Betrieb gewährleisten sollen.

Hieraus ergibt sich schon zwangsläufig, daß eine Übertragung dieser dem Unternehmer obliegenden Pflichten nur auf solche Personen möglich ist, die über eine gewisse Selbständigkeit verfügen. Dem Sinn und Zweck der Vorschrift entsprechend wird man jedoch nicht fordern müssen, daß der Betriebsleiter über die notwendigen finanziellen Mittel verfügt, sondern es muß nur sichergestellt sein, daß die von ihm notwendig erachteten Maßnahmen auch durchgeführt werden. Als ausreichend wird man es ansehen können, wenn der Betriebsleiter Einfluß daraufhin ausüben kann, daß die erforderlichen Geldmittel zur Verfügung gestellt werden.

Die Übertragung sonstiger Pflichten des Unternehmers auf dem Gebiete der Unfallverhütung, z. B. die Pflicht, dafür zu sorgen, daß die vorgeschriebenen und im Unternehmen vorhandenen Sicherheitseinrichtungen benutzt oder bestimmte Sicherheitsmaßnahmen bei der Durchführung der Arbeiten befolgt werden, kann einem weit größeren Personenkreis übertragen werden, z. B. Gruppenleitern, Meistern und sonstigen Mitarbeitern, wenn sie entsprechende Fähigkeiten besitzen und für die verantwortliche Wahrnehmung solcher Aufgaben geeignet sind.

Zur Unterstützung des Unternehmers und seiner verantwortlichen Vertreter hat der Unternehmer gemäß § 719 der Reichsversicherungsordnung Sicherheitsbeauftragte zu bestellen.

Diese Sicherheitsbeauftragten haben jedoch nicht die Aufsichtsfunktion und nicht die Weisungsbefugnis eines betrieblichen Vorgesetzten. Sie sollen sich in kollegialer Weise für unfallsicheres und verantwortungsbewußtes Arbeiten bei den Mitarbeitern einsetzen. Insbesondere sollen sie die Mitarbeiter darüber aufklären, daß Unfälle häufig auf Ursachen zurückzuführen sind, die in der menschlichen Unzulänglichkeit liegen und durch unsachgemäßes Verhalten bedingt sind.

Die Sicherheitsbeauftragten sollen auf technische Mängel im Betriebe achten, die zu Unfällen führen können. Sofern solche Mängel rechtzeitig erkannt und beseitigt werden, lassen sich zahlreiche Unfälle vermeiden. Sicherheitsbeauftragte, die sicherheitswidrige Zustände feststellen, haben dies dem hierfür Verantwortlichen mitzuteilen. Unabhängig davon sollen sich die Sicherheitsbeauftragten aber auch bemühen, eigene Vorschläge zur Verbesserung der Unfallsicherheit zu machen.

Zur Zeit sind 35 "Betriebsleiter", 138 "Aufsichtspersonen" und 53 "Sicherheitsbeauftragte" nach RVO bestellt.

#### *2.4.2 Information und Ausbildung*

Im Rahmen der vorbeugenden Unfallverhütung wurden im Jahre 1970 Informationsveranstaltungen für die bestellten Sicherheitsbeauftragten unter Beteiligung des Unfallversicherungsverbandes der Badischen Gemeinden und Gemeindeverbände - mit den Themen Versicherungsfälle und Leistungen der gesetzlichen Unfallversicherung, Atem- und Augenschutz, Unfälle im Bereich der Gesellschaft für Kernforschung - durchgeführt und Unfallverhütungsfilme gezeigt. An den Filmveranstaltungen haben insgesamt etwa 1100 Mitarbeiter teilgenommen.

Nach § 21 der Unfallverhütungsvorschriften "Flurförderzeuge" dürfen Flurförderzeuge nur von Personen geführt werden,

die in der Führung ausgebildet sind, ihre Fähigkeit im Fahren nachgewiesen haben und ausdrücklich als Führer bestimmter Flurförderzeuge zugelassen wurden. Im Berichtszeitraum erhielten 25 Mitarbeiter eine praktische und theoretische Ausbildung im Umgang mit Flurförderzeugen. Insgesamt wurden bisher 137 Mitarbeiter ausgebildet.

#### 2.4.3 Betriebsüberwachung, besondere Schadensfälle

Im Rahmen der allgemeinen Betriebsüberwachung sowie aufgrund von besonderen Erfordernissen wurden im Berichtszeitraum 102 Begehungen in den Instituten und Abteilungen durchgeführt, hiervon 13 gemeinsam mit einem Aufsichtsbeamten der Gewerbeaufsicht.

An besonderen Schadensfällen sind erwähnenswert:

- 12. 4. Brand von 3 Fremdfirmenbaracken; vermutlich verursacht durch einen Tauchsieder.
- 24. 4. Schwelbrand in einer Gebäudedehnungsfuge infolge Schweißarbeiten bei der Montage von Lüftungskanälen.
- 13. 7. Entzündung eines Luft/Gas-Gemisches in einer Abgasleitung eines Motorenversuchsstandes; Gebäudeschaden.
- 28. 8. Entfachung eines Schwelbrandes in einer Gebäudetrennfuge bei Dachisolierungsarbeiten.
- 17. 9. Zimmerbrand durch achtlos in den Papierkorb geworfene Zigarettenasche.
- 18. 9. Rohrbruch an einer Warmwasserversorgungsleitung.
- 1.12. Wohnwagenbrand durch unbeaufsichtigt in Betrieb gehaltenen Propangaskocher.
- 16.12. Brand von Verpackungsmaterial in einer Experimentierhalle durch Nichtbeachtung von Schutzmaßnahmen bei der Durchführung von Schweißarbeiten.

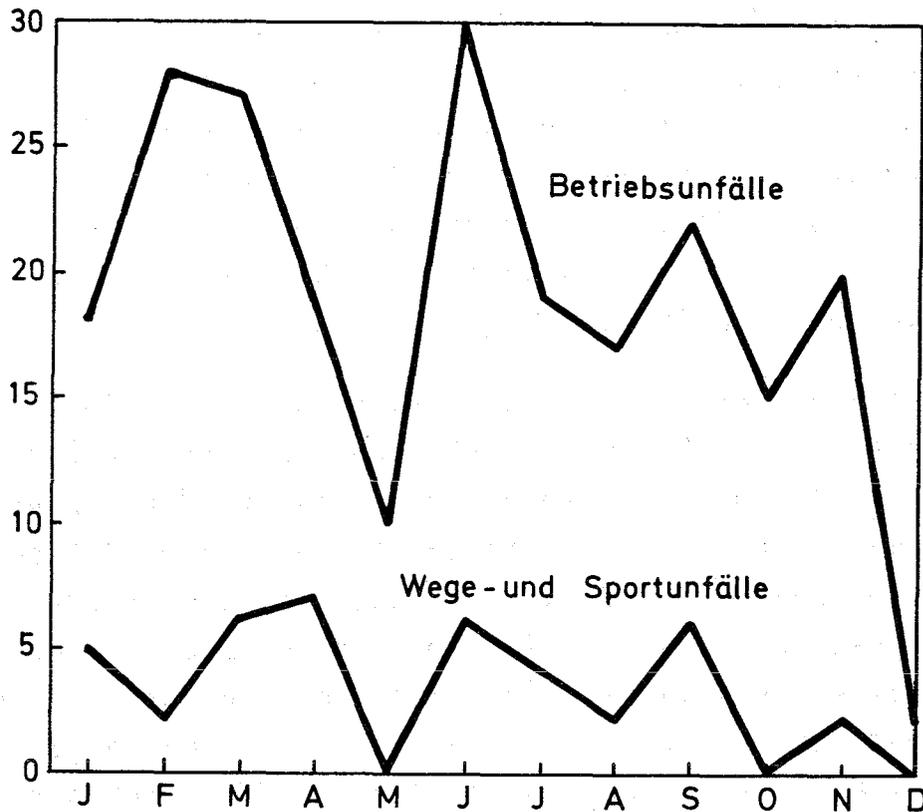


Abb.2 Anzahl der Unfälle je Monat 1970

## 2.5 Räumungsplan

W. Koelzer

Bei jeder technischen Anlage besteht trotz aller Sorgfalt bei Errichtung und Betrieb und trotz laufender Überwachung grundsätzlich die Möglichkeit eines technischen Versagens. Weiterhin ist die Möglichkeit einer Gefährdung der Anlage durch externe Ereignisse gegeben. Um dabei eine Gefährdung von Personen auszuschließen oder zumindest zu verkleinern, ist eine sorgfältige Gefahrenabwehrplanung notwendig.

Für das Kernforschungszentrum Karlsruhe wurde daher ein Räumungsplan erarbeitet, der selbst im Falle eines schweren Reaktorunfalls eine sichere, ordnungsgemäße und schnelle Räumung des Kernforschungszentrums ermöglicht. Grundlage dieses Räumungsplans ist der in den Reaktorsicherheitsberichten beschriebene "größte anzunehmende Unfall (GAU)".

Die Auswirkungen von Reaktorunfällen sind im wesentlichen auf das Gelände des Kernforschungszentrums beschränkt. Die Hauptgefahrenquelle für die Mitarbeiter ist dabei die Gammastrahlung aus der Halle des betroffenen Reaktors. Bei schweren Reaktorunfällen wird eine Räumung des Kernforschungszentrums erforderlich sein, um die Mitarbeiter nicht einer zu großen Strahlenbelastung auszusetzen.

Die auf der Grundlage der Sicherheitsberichte der einzelnen Reaktoren als Funktion der Entfernung und der Zeit nach dem Unfall errechneten Dosiswerte durch äußere Bestrahlung durch die Gammastrahlung der mit Spaltprodukten gefüllten Reaktorhalle ergeben verfügbare Zeiten, die eine geordnete Räumung des Kernforschungszentrums ermöglichen. So ergibt sich eine Dosis von 12,5 rem bei einem GAU am FR 2 bei einer Entfernung von 200 m erst in 32 Minuten und bei 350 m nach 5 Stunden. Für die Reaktoren MZFR und KNK ergeben sich ähnliche, ja sogar längere Zeiten.

Die für die anderen Reaktoren und kerntechnischen Anlagen auf dem Gelände des Kernforschungszentrums an Hand der Sicherheitsberichte durchgeführten Analysen ergeben für den jeweils "größten anzunehmenden Unfall" keine Räumungsnotwendigkeit für das gesamte Zentrum.

Um eine geordnete Räumung innerhalb der erforderlichen Zeit durchführen zu können, ist das Kernforschungszentrum in (örtliche) Räumungsgebiete und (zeitliche) Räumungszonen eingeteilt.

Die Einteilung in Räumungsgebiete soll eine möglichst reibungslose Räumung durch Verteilung auf verschiedene Verkehrswege ermöglichen. Ausgehend von den befahrbaren Straßen und Waldwegen außerhalb und unter Berücksichtigung der Verkehrsverhältnisse innerhalb des Kernforschungszentrums, wurde das Kernforschungszentrum in 5 Räumungsgebiete unterteilt.

Die Einteilung des Kernforschungszentrums in Räumungszonen, die den Anlagen mit dem größten Gefährdungspotential zugeordnet sind, berücksichtigt die unterschiedliche Dringlichkeit der Räumung der verschiedenen Gebäude in Abhängigkeit vom Abstand vom potentiellen Gefahrenpunkt. Für die einzelnen Räumungszonen sind Zeiten (Räumungszeiten) angegeben, in denen die Zone von den Mitarbeitern geräumt sein soll. Die ebenfalls angegebenen Aktionszeiten (Zeit, in der eine Dosis von 12,5 rem anfällt) dienen der Abschätzung der Dosisbelastung der Einsatzdienste und Hilfstrupps, für die Sonderregelungen gelten.

Die Aufforderung zur Räumung erfolgt auf Anweisung des Einsatzleiters vom Dienst über die Lautsprecheranlage, über die alle Gebäude einzeln, in Gruppen oder zusammen beschallt werden können. Die Räumungsaufforderung kann in den zwei Stufen "Räumungsbereitschaft" und "Soforträumung" angeordnet werden.

Die Räumung erfolgt mit den privaten Kraftfahrzeugen der Mitarbeiter. Die motorisierten Mitarbeiter sind verpflichtet, Mitarbeiter ohne Fahrzeug in ihren Fahrzeugen mitzunehmen. Räumungsziel ist grundsätzlich die häusliche Wohnung.

Allen Mitarbeitern im Kernforschungszentrum wurden die für sie wichtigen Teile des Räumungsplans mit Karten und Skizzen der Räumungsgebiete und der Fluchtwege innerhalb und außerhalb des Kernforschungszentrums ausgehändigt und der Räumungsplan am 1.12.1970 in Kraft gesetzt.

## 2.6 Allgemeine Aufgaben

### G. Stäblein

#### - Sicherheitsbeirat

Nach der Satzung für den Sicherheitsbeirat des Kernforschungszentrums Karlsruhe führt der Sicherheitsbeauftragte der GfK den ständigen Vorsitz. Der Leiter des Technischen Sicherheitsbüros ist Sekretär des Sicherheitsbeirats. Er besorgt die Vorbereitung der Sitzungen, Ladung der Teilnehmer in der jeweiligen problemabhängigen Zusammensetzung des Rates, sowie Anfertigung und Verteilung eines Protokolls über Verlauf und Ergebnis der Sitzungen.

Im Jahre 1970 fanden 12 Sitzungen des Sicherheitsbeirates statt (Tab. 3).

Datum	Gremium	Thema
26. 1.	FR 2	Inbetriebnahme Projekt 58
16. 4.	Oberbetr. Fragen	Räumungsplan
16. 4.	SNEAK	Spezielle Brennstoffplättchen
2. 7.	RB/Z	Betriebsanweisung - Lüftung für Heiße Zellen
2. 7.	IHCh	Betriebsanweisung - Abluft für Institut Heiße Chemie
2. 7.	WAK	Lagergestelle für MZFR-Brennelemente
16. 9.	Oberbetr. Fragen	Räumungsplan
16. 9.	SNEAK	SNEAK-7-Anordnung
12.10.	STARK	Ladung 6
28.10.	FR 2	Bestrahlung von Prüflingen im He-Loop
24.11.	MZFR	Betriebsbericht
18.12.	WAK	Lagerung von KWO-Elementen

Tab. 3: Sicherheitsbeiratssitzungen

**- Normenarbeit**

Im Unterkomitee "Instrumentierung für Strahlenschutz" der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) wird vom Leiter des Technischen Sicherheitsbüros als deutschem Sprecher am Normierungsbestreben auf dem Gebiet des Strahlenschutzes mitgearbeitet.

**- Behördenkontakte**

Das Technische Sicherheitsbüro ist Verbindungsstelle zu den Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden sowie zu Gutachtern und externen Dienststellen in sicherheitstechnischen Fragen. Hierzu gehören Regelungen, Meldungen, Anzeigen, Genehmigungsanträge sowie Aufsichtsbesuche und Besprechungen.

**- Koordination innerhalb des Kernforschungszentrums**

Auf dem Gelände des Kernforschungszentrums sind verschiedene Institutionen mit der GfK durch Sicherheitsvereinbarungen verbunden. Das Technische Sicherheitsbüro sorgt dabei für Abstimmung, Information und Beratung.

### 3. Strahlenschutzüberwachung

#### 3.1 Arbeitsplatzüberwachung

L. König, E. Dietrich

Art und Umfang der Routineüberwachung sind langfristig in Vereinbarungen mit den zuständigen Strahlenschutzverantwortlichen festgelegt. Ergänzend hierzu werden laufend kurzfristig beschlossene Überwachungsmaßnahmen durchgeführt, die auf den Betriebsablauf abgestimmt sind. Einzelheiten über die anfallenden Aufgaben sind im Jahresbericht 1969 (6) angegeben.

Die Tabelle 4 enthält einige im Zusammenhang mit der Arbeitsplatzüberwachung interessante Zahlen. Zum Vergleich sind die entsprechenden Zahlen aus dem Vorjahr wiederholt. Aus der Tabelle nicht erkennbar ist der Aufwand für Direktmessungen der Äquivalentdosisleistung und der Oberflächenkontamination, die aus praktischen Gründen nicht mit der gleichen Ausführlichkeit protokolliert werden können wie Wischtests und Luftstaubmessungen.

Jahr		1969	1970
Wischtests		418 000	407 000
davon > 2 NE		nicht erfaßt	157 000
Luftstaubmessungen		17 800	19 400
Kontaminationen	Räume	$\alpha$ : 604	$\alpha$ : 276 $\beta$ : 770
	Gegenstände	$\beta$ : 1686	$\alpha$ : 512 $\beta$ : 1451
	Luft	$\alpha$ : 30 $\beta$ : 38	30 139
	Personen	$\alpha+\beta$ : 150	$\alpha$ : 3 $\beta$ : 102

Tab. 4: Übersicht über die Ergebnisse der Arbeitsplatzüberwachung

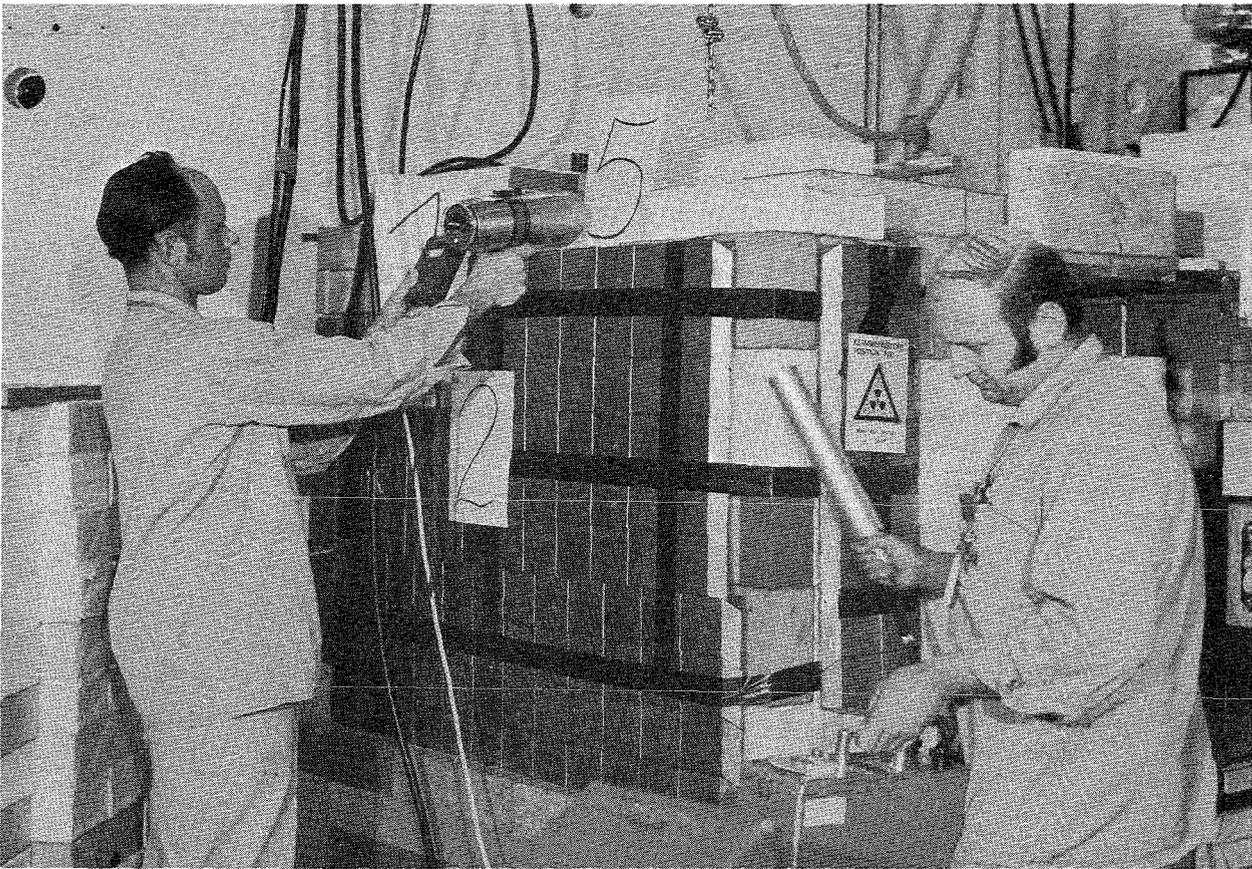
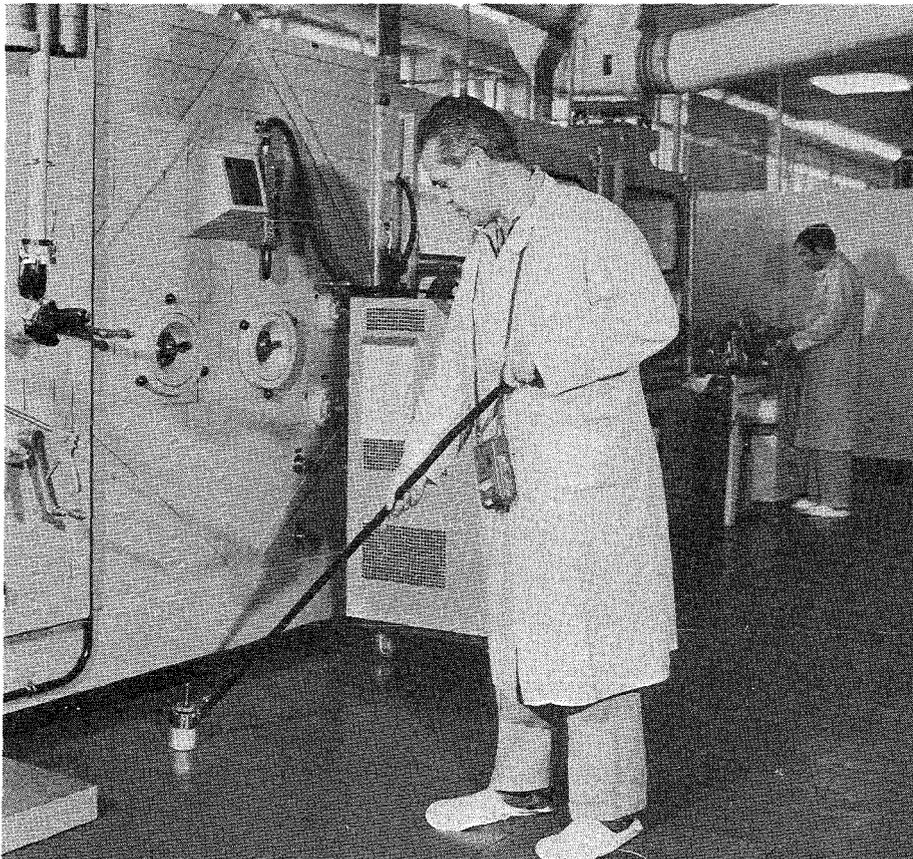


Abb. 3: Dosisleistungsmessung zur Überprüfung einer Abschirmung

Abb. 4: Wischtestnahme



In den Tabellen 5 und 6 sind einige nähere Angaben über Ergebnisse der Luftüberwachung gemacht. Tabelle 5 berichtet über die bei der Luftüberwachung am Arbeitsplatz identifizierten Radionuklide. In Tabelle 6 werden Einzelheiten über die bei den Gasmessungen festgestellten Konzentrationen angegeben. Es wurde keine  $\beta$ -Aerosolkonzentration oberhalb von  $5 \cdot 10^{-9}$  Ci/m<sup>3</sup> und keine  $\alpha$ -Aerosolkonzentration - ausgenommen <sup>210</sup>Po - oberhalb  $5 \cdot 10^{-12}$  Ci/m<sup>3</sup> festgestellt. Die größte gefundene <sup>210</sup>Po-Konzentration betrug  $4 \cdot 10^{-10}$  Ci/m<sup>3</sup>.

Radionuklid		Anteil in %
Tritium		32
Spalt- produkte	<sup>85</sup> Kr	8
	Aerosole ohne Beimengung	22
	Aerosole mit Beimengungen von Aktivierungsprodukten	12
Sonstige $\beta$ -Strahler		8
$\alpha$ -Strahler		18

Tab. 5: Bei der Luftüberwachung am Arbeitsplatz identifizierte Radionuklide

Größenordnung* der Konzentration (Ci/m <sup>3</sup> )	Anzahl der Fälle	
	<sup>85</sup> Kr	<sup>3</sup> H
10 <sup>-7</sup>	1	
10 <sup>-6</sup>	6	
10 <sup>-5</sup>	5	25
10 <sup>-4</sup>	2	22
10 <sup>-3</sup>	-	5
10 <sup>-2</sup>	-	2

\*Definiert durch:  $3 \cdot 10^{n-1} \leq \text{Konzentration} < 3 \cdot 10^n$

Tab. 6: Größenordnung der gemessenen Gaskonzentrationen

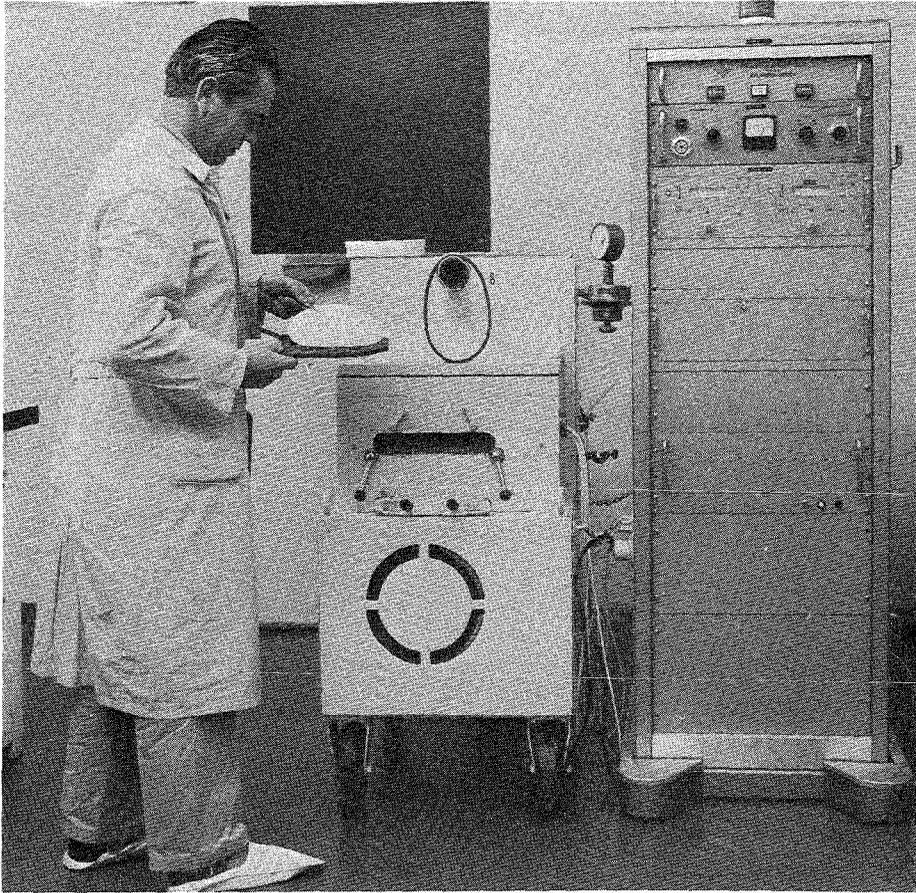


Abb. 5: Filterwechsel bei einer Luftüberwachungsanlage

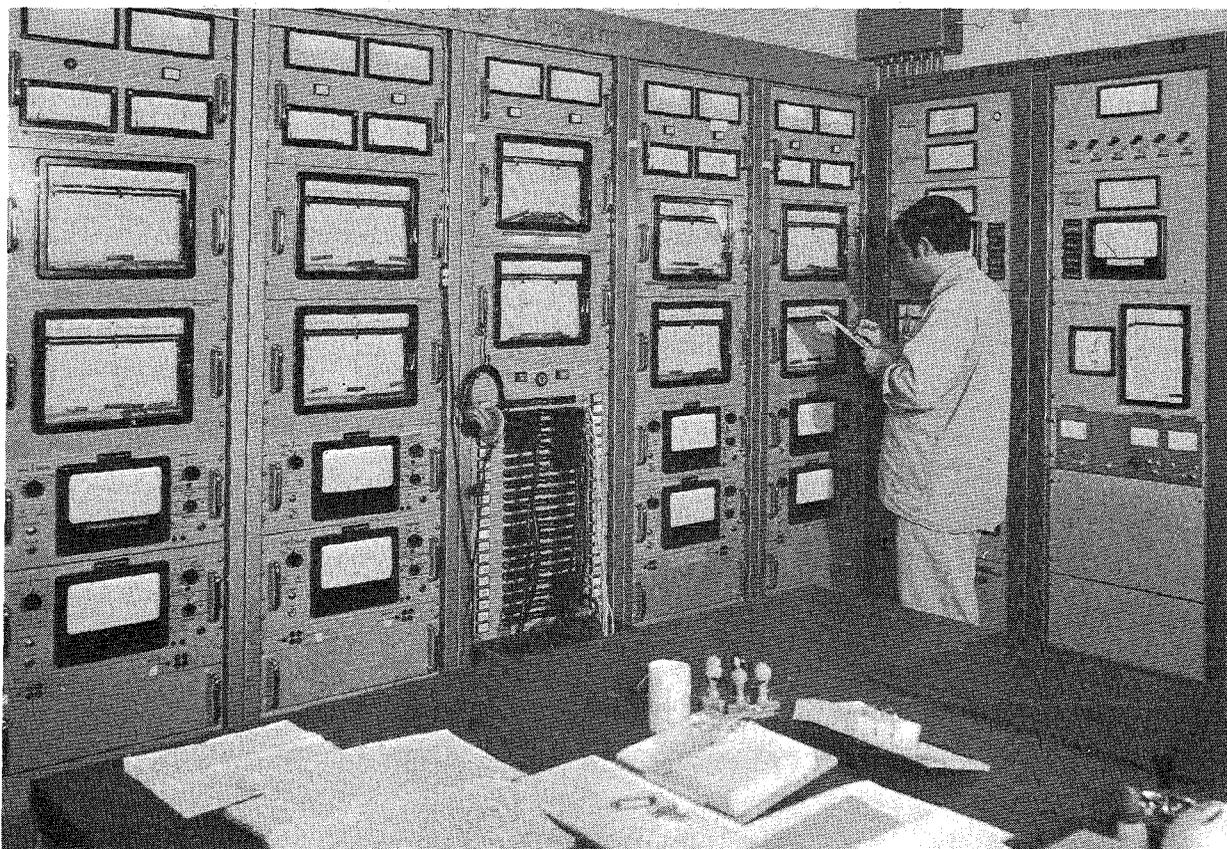


Abb. 6: Luftüberwachungsanlagen im Strahlenschutzkontrollraum der Heißen Zellen

Insgesamt waren im Berichtszeitraum 93 Radioisotopentransporte vom bzw. zum Kernforschungszentrum sowie 14 innerhalb des Zentrums zu begleiten.

1970 wurden im Strahlenschutzmeßlabor 23 Proben alphaspektroskopisch untersucht. Dabei handelte es sich um 13 Wischtests sowie 10 Luftfilter. Tabelle 7 gibt eine Übersicht über die durch Alphaspektroskopie identifizierten  $\alpha$ -Strahler.

Nuklide	Anzahl der Fälle	Nuklide	Anzahl der Fälle
$^{241}\text{Am}$	15	$^{244}\text{Cm}$	1
$^{239}\text{Pu}$	11	nat. U	1
$^{210}\text{Po}$	6	nat. Luftstaub	1
$^{242}\text{Cm}$ und/oder $^{252}\text{Cf}$	1		

Tab. 7: Alphaspektroskopisch im Strahlenschutzlabor am FR 2 identifizierte Radionuklide

Auf dem  $\alpha$ - $\beta$ -Pseudokoinzidenz-Probenwechsler für 20 cm-Filter wurden 18 400 Luftfilter ausgemessen. Dabei wurde auf 33 Filtern eine  $\alpha$ -Aktivität oberhalb 0,1 nCi und auf 56 Filtern eine  $\beta$ -Aktivität oberhalb von 0,5 nCi gefunden.

1970 wurden im Meßlabor am FR 2 166 Proben gammaspektroskopisch untersucht. Im einzelnen handelte es sich dabei um 55 Wischtests, 87 Luftstaubfilter, 20 aktivierte bzw. kontaminierte Gegenstände, eine Gasprobe sowie zwei Wasserproben. Außerdem wurde eine vor-Ort-Messung ausgeführt. 64 der Proben stammten vom FR 2, 57 aus der Abteilung Dekontaminationsbetriebe. Der Rest wurde aus den übrigen Anlagen des Kernforschungszentrums angeliefert. Zwei Proben konnten nicht analysiert werden, da die Aktivität zu gering bzw. eine Analyse ohne chemische Trennung nicht möglich war. Tabelle 8 gibt eine Übersicht über die gammaspektroskopisch identifizierten Radionuklide.

Nuklide	Anzahl der Fälle	Nuklide	Anzahl der Fälle
$^{60}\text{Co}$	57	$^{91}\text{Sr}$	2
$^{137}\text{Cs} - ^{137\text{m}}\text{Ba}$	48	$^{241}\text{Am}$	2
$^{95}\text{Zr} - ^{95}\text{Nb}$	40	$^{185}\text{Os}$	2
$^{144}\text{Ce} - ^{144}\text{Pr}$	39	$^{76}\text{As}$	2
$^{106}\text{Ru} - ^{106}\text{Rh}$	34	$^{198}\text{Au}$	2
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	26	$^{203}\text{Hg}$	2
$^{65}\text{Zn}$	22	$^{141}\text{Ce}$	2
$^{24}\text{Na}$	14	$^{125}\text{Sb} - ^{125\text{m}}\text{Te}$	2
$^{51}\text{Cr}$	11	nat. Luftstaub	2
$^{124}\text{Sb}$	7	$^{38}\text{Cl}$	2
$^{131}\text{J}$	7	$^{88}\text{Kr} - ^{88}\text{Rb}$	1
$^{58}\text{Co}$	6	$^{85\text{m}}\text{Kr}$	1
$^{103}\text{Ru} - ^{103\text{m}}\text{Rh}$	6	$^{135}\text{Xe}$	1
$^{134}\text{Cs}$	5	$^{133}\text{Xe}$	1
$^{59}\text{Fe}$	4	$^{54}\text{Mn}$	1
$^{133}\text{J}$	4	$^{140}\text{Ba} - ^{140}\text{La}$	1
$^{138}\text{Cs}$	3	$^{40}\text{K}$	1
$^{139}\text{Ba}$	3	$^{235}\text{U}$	1
$^{212}\text{Pb}$	3	$^{234}\text{Th}$	1
$^{232}\text{Th} + \text{Folgepr.}$	3	$^{86}\text{Rb}$	1
$^{64}\text{Cu}$	2	$^{92}\text{Sr}$	1
$^{181}\text{Hf}$	2	$^{82}\text{Br}$	1
$^{187}\text{W}$	2	$^{75}\text{Se}$	1
$^{56}\text{Mn}$	2	$^{192}\text{Ir}$	1
$^{182}\text{Ta}$	2	$^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Te}$	1

Tab. 8: Gammaskopisch im Strahlenschutzmeßlabor identifizierte Radionuklide

Neben der Routinearbeit wurden systematische Untersuchungen durchgeführt, die zum Verständnis der Ergebnisse der Routineüberwachung beitragen sollen.

Die bisherigen Ergebnisse der Luftüberwachung auf radioaktive Aerosole wurden ausgewertet. Hierbei zeigte es sich, daß zeitlich und räumlich konstante Aerosolkonzentrationen in belüfteten Räumen kaum zu erwarten sind. Daher stimmen die Ergebnisse von nach demselben Verfahren ausgeführten Vergleichsmessungen nicht überein, so daß erst recht keine Obereinstimmung von Messungen nach verschiedenen Meßverfahren erwartet werden darf. Insbesondere sind die bestimmten Konzentrationswerte von der Zeitdauer und von dem Ort der Probennahme sowie von der in dem überwachten Raum stattfindenden Bewegung abhängig. Die vorliegenden Erfahrungen gestatten eine Zuordnung des Quotienten der Aerosolaktivitätskonzentration  $K_L$  und der Oberflächenkontamination  $K_F$  zu den herrschenden Bedingungen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 zusammengefaßt. (Siehe auch L.A. König "Erfahrungen bei der Luftüberwachung auf radioaktive Aerosole", Atompraxis 16, Heft 5/70.)

Größenordnung des Quotienten $K_L/K_F \text{ cm}^{-1}$	Bedingungen für das Eintreten
$10^{-2} - 10^{-5}$	Aerosolerzeugende Vorgänge, z. B. chemische Reaktionen in wässriger Lösung, Verbrennungsvorgänge, Absaugen abgelagerter Aerosole
$10^{-5} - 10^{-8}$	Aufwirbeln von Aktivität bei verschiedenen Arbeiten; eingeschaltete Belüftung
$10^{-8} - 10^{-11}$	Arbeitsruhe, eingeschaltete Belüftung

Tab. 9: Interpretation der Werte von  $K_L/K_F$  aufgrund der bisherigen Beobachtungen

Eine weitere Untersuchung befaßte sich mit der Aktivitätsverteilung auf die Teilchen, aus denen sich eine Kontamination zusammensetzt. Anlaß hierzu war die Lokalisierung eines einzelnen Teilchens von einer Aktivität von  $0,7 \mu\text{Ci}$  in der Unterkleidung eines Mitarbeiters. Hierdurch wurde die Frage nach der Häufigkeit solcher Ereignisse aufgeworfen.

Zur Klärung wurden aus einer Stichprobe von 250 positiven Wischtests jene ausgesucht, bei denen die Kontamination aus einzelnen Teilchen bestand. Dies wurde erreicht, indem zunächst jedes Wischtestpapier in Viertel zerschnitten und die Aktivität jedes Viertels gemessen wurde. In jenen Fällen, in denen die Aktivität auf einem Viertel konzentriert war, wurde die Aktivitätsverteilung durch Autoradiographie ermittelt. Hierbei wurden 10 Fälle herausgefunden, bei denen die Aktivität tatsächlich nur in einzelnen Teilchen konzentriert war. Tabelle 10 gibt eine Übersicht über die gefundene Aktivität und die identifizierten Radionuklide.

In keinem Fall wurde ein Teilchen mit einer Aktivität oberhalb eines Hundertstel der Freigrenze der Anlage I der 1. Strahlenschutzverordnung gefunden. Teilchen, die die Bezeichnung "heiße Teilchen" verdienen würden, spielen also bei der augenblicklichen Kontaminationsüberwachung keine Rolle. Kontaminationen, die aus einem einzelnen Teilchen geringer Aktivität bestehen, sind relativ seltene Ereignisse (Wahrscheinlichkeit in der Stichprobe 4 %). Es erscheint demnach vorerst unnötig, routinemäßig zur Beurteilung der Gefährdung durch Kontaminationen zusätzlich zur Aktivität auch die Aktivitätsverteilung zu ermitteln.

Lfd. Nr.	Aktivität in nCi		Nuklide
	$\alpha$	$\beta$	
1	-	4,4	$^{60}\text{Co}$
2	-	4,0	$^{60}\text{Co}$
3	0,8	0,8	nicht identifiziert
4	0,06	86	$^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}, ^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}, ^{137}\text{Cs}$
5	-	12	$^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}, ^{137}\text{Cs} + ^{137m}\text{Ba}, ^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$
6	-	3,7	$^{137}\text{Cs} + ^{137m}\text{Ba}, ^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$
7	-	44	$^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$
8	-	77	$^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}, ^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}, ^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$
9	-	3,4	nicht identifiziert
10	-	2,1	nicht identifiziert

Tab. 10

Als sehr nützlich und sehr empfindlich hat sich die Überwachung des nicht-aktiven Mülls erwiesen. In 8 Fällen wurde Aktivität im Müll festgestellt, wobei der spektakulärste Fund ein 92 g schwerer Uranerzbrocken (Pechblende) aus privatem Besitz war.

Erwähnenswert ist der Zeitaufwand für Ausbildung sowie für Übungen und Einsätze innerhalb des Kerntechnischen Hilfszugs (KTH). Auf abteilungsinterne Strahlenschutz Ausbildung sowie Ausbildung in Atemschutz, Erster Hilfe und in der Handhabung von Handfeuerlöschern entfielen insgesamt 1108 Technikerstunden. 302 Technikerstunden wurden für Tätigkeiten innerhalb des KTH aufgewendet.

### 3.2 Dichtigkeitsprüfungen

H. Fessler

Die nach der 1. Strahlenschutzverordnung vorgeschriebenen Dichtigkeitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen werden für alle im Kernforschungszentrum vorhandenen Quellen aufgrund einer Ermächtigung der Aufsichtsbehörde von unabhängigen Sachverständigen für Dichtigkeitsprüfungen in Eigenüberwachung durchgeführt.

Im Jahre 1970 wurden insgesamt 188 Dichtigkeitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen durchgeführt. Bei diesen Prüfungen wurden 7 undichte Quellen ermittelt.

### 3.3 Ueberwachung der Ableitungen

#### 3.3.1 Abwasserüberwachung

M. Winter

Die Zahl der auszumessenden Abwasserproben ist 1970 um 1 573 auf 13 439 angewachsen. Dies bedeutet gegenüber dem Vorjahr einen Zuwachs von 13 %. Dieser steile Anstieg der Anzahl der Abwasserproben (Abb. 7) ist hauptsächlich auf einen gestiegenen Abwasseranfall in vielen Instituten zurückzuführen und auf die Erhöhung der Zahl der Abwassersammelstationen durch neue Betriebe oder Betriebsteile von 32 auf 38.

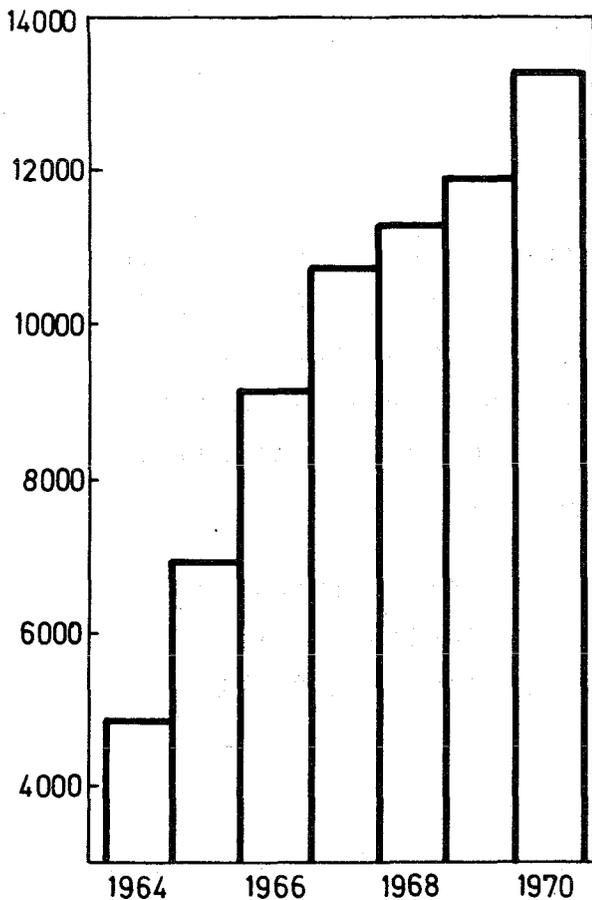


Abb.7 Jährl. Anzahl der Abwasserproben

Im Mittel waren 1970 arbeitstäglich etwa 60 Abwasserproben auszumessen. Neben dieser Hauptaufgabe des Abwasserlabors haben jedoch auch die zahlreichen Neben- und Sonderaufgaben an Umfang stark zugenommen. Solche Aufgaben sind z. B. die regelmäßigen Kontrollmessungen von Wasserproben aus dem Kühlkreislauf und dem Absetzbecken des FR 2, die Tritiumbestimmungen in täglich bis zu 30 Luftfeuchteproben ebenfalls aus dem Bereich des FR 2 (Überwachung des Tritiumgehalts der Luft in Betriebs- und Anlagenräumen und der Abluft).

Durch diese routinemäßige Tritiumüberwachung war es z. B. möglich, an einem Wärmetauscher des Hauptkreislaufs ein äußerst geringes Leck nachzuweisen. Durch dieses Leck waren nicht mehr als  $77 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3$  Schwerwasser ausgetreten. Die Empfindlichkeit dieser Methode erwies sich damit in diesem Fall der mit der Heliumlecksuche erzielbaren weit überlegen. Viele Institute des Kernforschungszentrums machen in wachsendem Maße von der Möglichkeit Gebrauch, Wasserproben verschiedenster Art und Herkunft (kein Abwasser) zu Informationszwecken im Abwasserlabor untersuchen zu lassen.

Meßaufgaben der hier geschilderten Art, die z. T. den Charakter reiner Routinemessungen übersteigen, nehmen im Rahmen der Gesamtaufgaben des Abwasserlabors einen immer breiteren Raum ein.

Die zeitliche Bewältigung dieser gestiegenen Anforderungen war nur durch weitere Rationalisierungsmaßnahmen möglich.

Entscheidende Verbesserungen wurden durch eine Neukonstruktion der Eindampfanlage erzielt (Abb. 8 u. 9). Die bewegliche Anordnung der Oberflächenverdampfer und die Verwendung von Temperaturfühlern mit einer dazu entwickelten Abschaltautomatik zur Vermeidung von Überhitzungen des Eindampfrückstandes in der Meßschale haben zu einer spürbaren Bedienungsvereinfachung geführt und die Funktionssicherheit der Anlage erhöht. Die Konstruktion der Eindampfanlage wurde als Gebrauchsmuster angemeldet (vergl. Kapitel 5.5.4).

Eine weitere Verbesserung wurde im Meßlabor durch die Anschaffung einer neuen Elektronik erreicht, die es erlaubt, gleichzeitig 4 Großflächenzähler zur Messung der  $\alpha$ - und  $\beta$ -Bruttoaktivität anzuschließen (Abb. 10). Außer der Kosteneinsparung durch Verwendung von nur einer Hochspannungs- und Zeiteinheit für alle 4 Meßplätze bietet diese Konzeption den Vorteil, daß die frei wählbaren Meßzyklen automatisch ablaufen und alle Ergebnisse ausgedruckt werden.

Anfang 1970 konnte eine neue Gitterionisationskammer zur  $\alpha$ -Spektroskopie in Betrieb genommen werden, die den bis dahin verwendeten Eigenbau-Prototyp ersetzte. Mit der neuen Ionisationskammer sind  $\alpha$ -spektroskopische Nuklididentifizierungen in Abwasserrückstandsproben auf Schalen von 20 cm  $\emptyset$  bei einer durchschnittlichen Flächenbelegung von 0,2 mg/cm<sup>2</sup> mit einem Auflösungsvermögen von 80 - 100 keV innerhalb 10 bis 30 min möglich.

Die Tabelle 11 zeigt eine Übersicht über die 1970 im Abwasserlabor durchgeführten Einzelmessungen. Der Jahressumme von rund 17 500 Proben stehen rund 39 000 Einzelmessungen gegenüber, die zum Erhalt der gewünschten Information über die Proben notwendig waren. 23 % aller angelieferten Proben waren keine Abwasserproben.

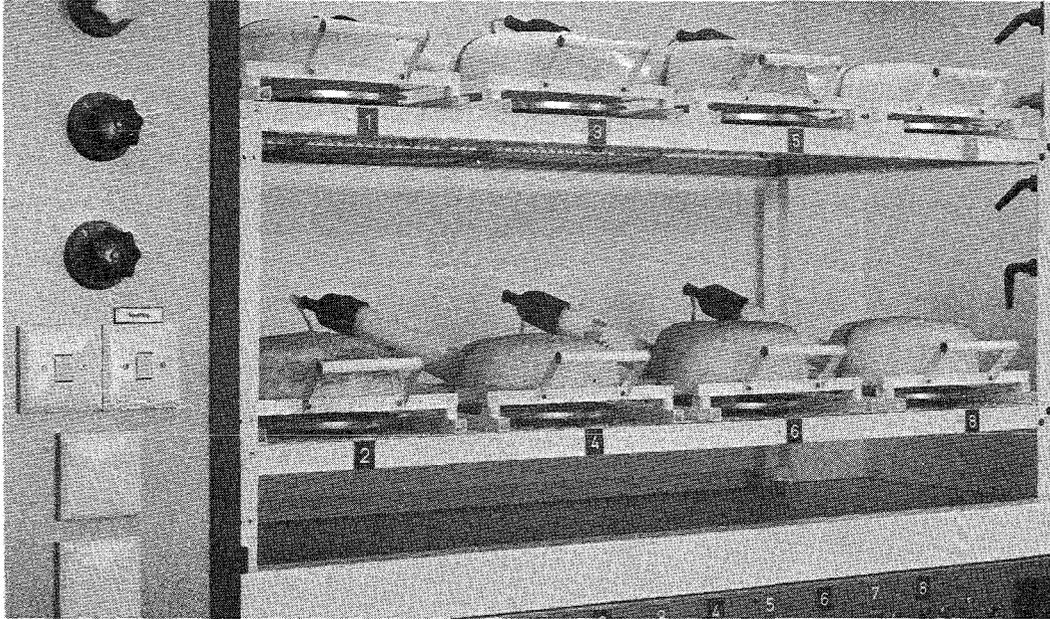


Abb. 8 u. 9:  
Tischabzug mit  
8 Verdampferschlitten

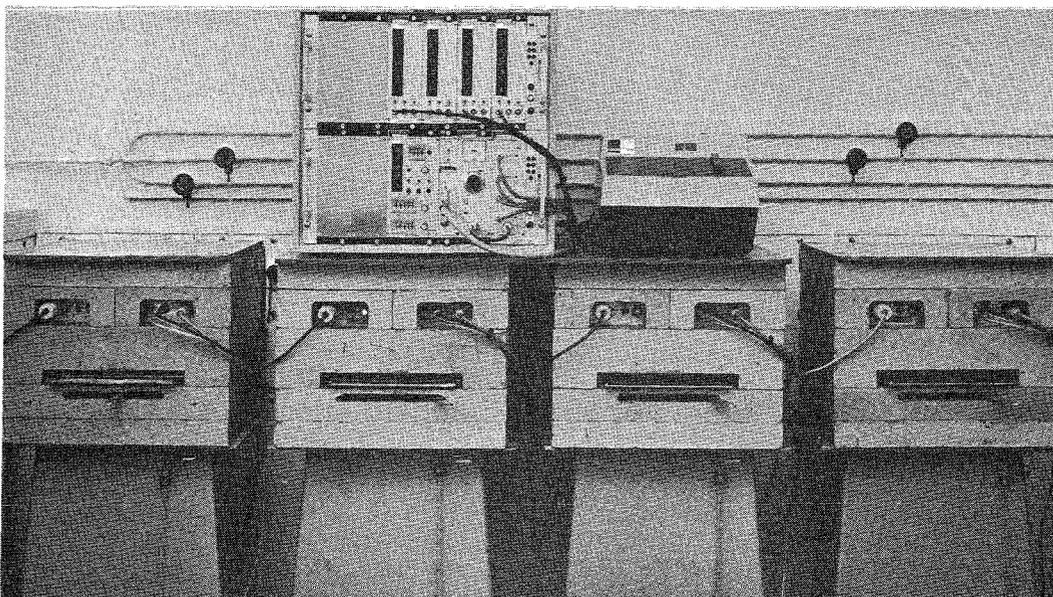
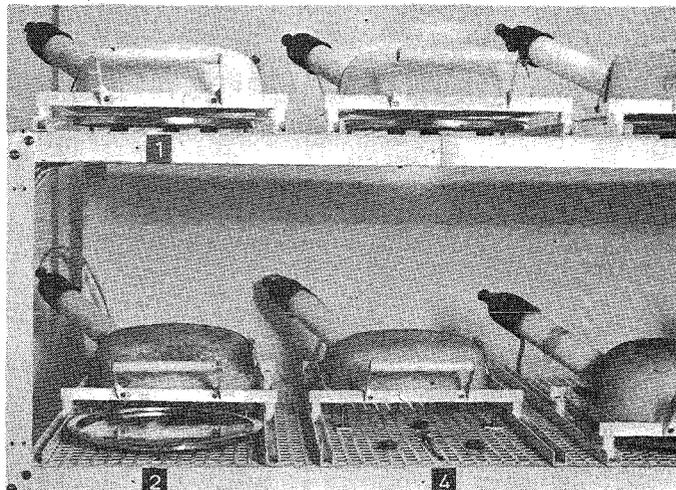


Abb. 10: Meßplatzkombination

Art der Proben	Zahl	Zahl der durchgeführten Einzelmessungen						Summe der Einzelmessungen
		$\alpha$	$\beta$	$^3\text{H}$	$\alpha$ -Spektr.	$\gamma$ -Spektr.	$\beta$ -Energiebestimm.	
Abwasser	13 439	13 439	13 439	3 782	543	1 653	562	33 418
Schlamm aus Abwassersammelstationen	83	83	83	-	-	-	-	166
Wasserproben FR 2	437	437	437	437	-	437	-	1 748
Luftfeuchteproben vom FR 2	2 454	-	-	2 454	-	-	-	2 454
Sonstige Proben	1 005	132	109	459	345	183	-	1 228
Jahressumme	17 419	14 091	14 068	7 132	888	2 273	562	39 014

Tab. 11: Art und Zahl der Proben und der 1970 durchgeführten Einzelmessungen

Die in den 38 Abwassersammelstationen der Institute und Abteilungen des Kernforschungszentrums 1970 angefallene Abwassermenge hat sich um 82 000 m<sup>3</sup> auf 265 000 m<sup>3</sup> erhöht. Die angefallene Abwassermenge ist damit gegenüber dem Vorjahr um 45 % angestiegen. Die Tabelle 12 zeigt die Verteilung der 1970 angefallenen Abwasseraktivität. Demnach sind 98 % der gesamten  $\beta$ -Bruttoaktivität und 88 % der gesamten  $\alpha$ -Bruttoaktivität in nur 8 von insgesamt 38 Abwassersammelstationen angefallen. Während sich die angefallene  $\beta$ -Bruttoaktivität gegenüber dem Vorjahr kaum geändert hat, hat sich die angefallene  $\alpha$ -Bruttoaktivität verdoppelt. Diese Zunahme ist hauptsächlich auf die relativ hohe  $\alpha$ -Aktivität der Abwässer der WAK zurückzuführen.

	β-Bruttoaktivität		α-Bruttoaktivität	
	in mCi	in %	in mCi	in %
KFZK insgesamt	5 390,9	100	119,4	100
davon:				
Heiße Zellen	2 866,9	53,0	4,4	3,3
MZFR	1 468,1	27,0	0,24	0,2
WAK	540,2	10,0	84,2	70,5
FR 2	227,1	4,2	0,04	0,03
Wäscherei	113,3	2,0	2,3	1,9
Radiochemie	70,5	1,3	0,86	0,7
Entakt. flüss.	24,9	0,4	1,55	1,3
Heiße Chemie ALKEM	21,0	0,3	12,8	10,0
Teilsomme	5 332,0	98,2	106,4	87,9

Tab. 12: Herkunft der 1970 angefallenen Abwasseraktivität

Die in Tabelle 12 angegebenen Werte sind die maximal möglichen Aktivitätswerte im Unterschied zu den nachgewiesenen Aktivitätswerten. Diese Unterscheidung ist notwendig, da, wie Tabelle 13 zeigt, in vielen Fällen die Aktivitätskonzentrationen unter der Nachweisgrenze liegen.

Art der Aktivität	Zahl der Abwasserproben	davon mit einer Aktivitätskonz. < Nachweisgrenze	im Sinne der 1. SSV0 unfrei
α	13 439	9 358 (69 %)	616 (4,5 %)
β	13 439	5 025 (37 %)	
<sup>3</sup> H	3 782	967 (26 %)	

Tab. 13: Anteil der unfreien Proben und der Proben mit Aktivitätskonzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze für die α-, β-Brutto- oder Tritiumaktivität

Die Nachweisgrenzen liegen für die α- und β-Bruttoaktivität bezogen auf <sup>235</sup>U und <sup>40</sup>K bei  $0,5 \cdot 10^{-7}$  Ci/m<sup>3</sup> und  $1,0 \cdot 10^{-7}$  Ci/m<sup>3</sup>.

Tabelle 14 gibt die aus dem Kernforschungszentrum Karlsruhe abgeleitete Abwasseraktivität wieder.

aus dem KFZK abgeleitete Abwasseraktivität	α	0,23 mCi	Wassermenge $4,9 \cdot 10^5$ m <sup>3</sup>
	β	41,9 mCi	
	<sup>3</sup> H	601,9 Ci	

Tab. 14: 1970 in den Altrhein abgeleitete Abwasseraktivität

Die erhöhten Tritiumableitungen, die verschiedenartigen Anwendungsfälle der Tritiumüberwachung bei schwerwassermoderierten Reaktoren und nicht zuletzt auch das Interesse an einer genaueren Kenntnis des natürlichen Tritiumpegels in der Umwelt waren Anlaß, die Empfindlichkeit der bisher angewandten Flüssigszintillationsmeßtechnik weiter zu verbessern.

Nr.	Zusammensetzung	optimale Meß- gutmenge in ml Wasser	Null- effekt in ipm	Nachweisgrenze in pCi/ml		Bemerkungen
				10 min Meßzeit	50 min Meßzeit	
1	7 g/l PPO 1,5 g/l bis-MSB 120 g/l Naphtalin 1 l Dioxan	4	15	1,8	0,8	preiswerte Szintillator- mischung für Routinebetrieb
2	9,5 g/l PPO 2 g/l bis-MSB 1 l Toluol Rohagal-Zusatz 1:2,75	10	23	1,2	0,55	Gute Szintillatormischung. Toluol diffundiert jedoch durch die Plastikflaschen. Folge: deformierte Flaschen und Schwierigkeiten beim automatischen Probenwechsel.
3	7 g/l PPO 1,5 g/l bis-MSB 1 l P-Xylol Triton N101-Zusatz 1:2,75	7	18	1,1	0,5	Güte wie bei Szintillator Nr. 2. Triton N101 jedoch nur in den USA erhältlich, daher nicht preisgünstig.
4	Insta-Gel	10	19	1,1	0,5	Sehr gute Szintillator- Mischung. Wird fertig ange- boten. Gleichmäßige Qualität.

Tab. 15: Vergleich verschiedener Szintillatormischungen bei der Tritiumbestimmung mit einem Flüssigszintillationsspektrometer

Nach umfangreichen Versuchsreihen mit dem Ziel einer Optimierung der verschiedenen Einflußgrößen im Hinblick auf eine möglichst niedrige Nachweisgrenze konnte diese bei 10 min Meßzeit bereits von vorher 15 pCi/ml auf 2 pCi/ml verbessert werden. Außerdem wurden verschiedene Szintillatormischungen untersucht (s. Tab. 15). Auf diese Weise ist es gelungen, die Nachweisgrenze bei der Bestimmung der Tritiumkonzentration in Wasserproben bei 10 min Meßzeit auf 1,1 pCi/ml und bei 50 min Meßzeit auf 0,5 pCi/ml herabzusetzen. Bei konstanter Gesamtflüssigkeitsmenge von 25 ml ergeben sich für die verschiedenen Szintillatormischungen unterschiedliche optimale Meßgutmengen. Alle Messungen wurden bei einer konstanten Temperatur von 17° C im Probenraum des Flüssigszintillationsspektrometers durchgeführt. Außerdem hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die fertig angesetzten Proben zur Verminderung des Einflusses der Photolumineszenz vor der Messung zu erwärmen und 2,5 Stunden lang auf einer Temperatur von 75° C zu halten.

### 3.3.2 Abluftüberwachung

L. König

Die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe in die Luft nach dem im Jahresbericht 1969 (6) beschriebenen organisatorischen Verfahren wurde 1970 fortgesetzt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 zusammengestellt. Zum Vergleich sind die Zahlen von 1969 wiederholt. Die Zunahme der Tritiumableitungen entspricht der Zunahme der Tritiumkonzentration im Schwerwasser der Reaktoren FR 2 und MZFR.

Nuklid	Aktivität in Ci	
	1969	1970
$^{41}\text{Ar}$	148 000	142 000
$^3\text{H}$	1 600	2 100
Mischung von $^{13}\text{N}$ , $^{15}\text{O}$ und $^{41}\text{Ar}$	50	65
$^{85}\text{Kr}$ $^{133}\text{Xe}$	-	81 1 700
Radiojod	0,5 (10 % $^{131}\text{J}$ )	-

Tab. 16: Ableitung radioaktiver Stoffe aus dem Kernforschungszentrum Karlsruhe in die Luft

Ausgehend von den 1970 gemachten Erfahrungen wurde unter Berücksichtigung betrieblicher Erfordernisse der Abluftplan für 1971 vorbereitet.

### 3.4 Umgebungsüberwachung

M. Winter

Die Umgebungsüberwachung des Kernforschungszentrums Karlsruhe wurde auch 1970 nach dem im Februar 1969 vom Arbeits- und Sozialministerium Baden-Württemberg gebilligten Programm durchgeführt.

Das Programm besteht aus zwei Teilen: I. Direktmessung der Strahlung und II. Aktivitätsmessungen. Während Teil I der Erfassung möglicher Gefahren für den Menschen durch direkte Strahleneinwirkung von außen dient und Dosisgrößen ermittelt, dient Teil II der Erfassung einer möglichen Inkorporationsgefahr für den Menschen, indem der Radioaktivitätsgehalt in verschiedenen Medien bestimmt wird, die vom Menschen direkt oder indirekt aufgenommen werden.

- I. Direktmessung der Strahlung
  - I.1 Zählrohraußenstationen
  - I.2 Zählrohr-Monitor-Anlage zur Geländeüberwachung
  - I.3 Phosphatglas-Dosimeter
- II. Aktivitätsmessungen
  - II.1 Aerosolgehalt der Luft
  - II.2 Niederschlag
  - II.3 Wasser
  - II.4 Biologisches Material

Insgesamt gehören zu diesem routinemäßigen Überwachungsprogramm 91 ortsfeste Meßstellen. 8 Zählrohraußenstationen (Abb. 11, Standorte s. Abb. 15) dienen der Überwachung des Strahlenpegels in benachbarten Ortschaften.

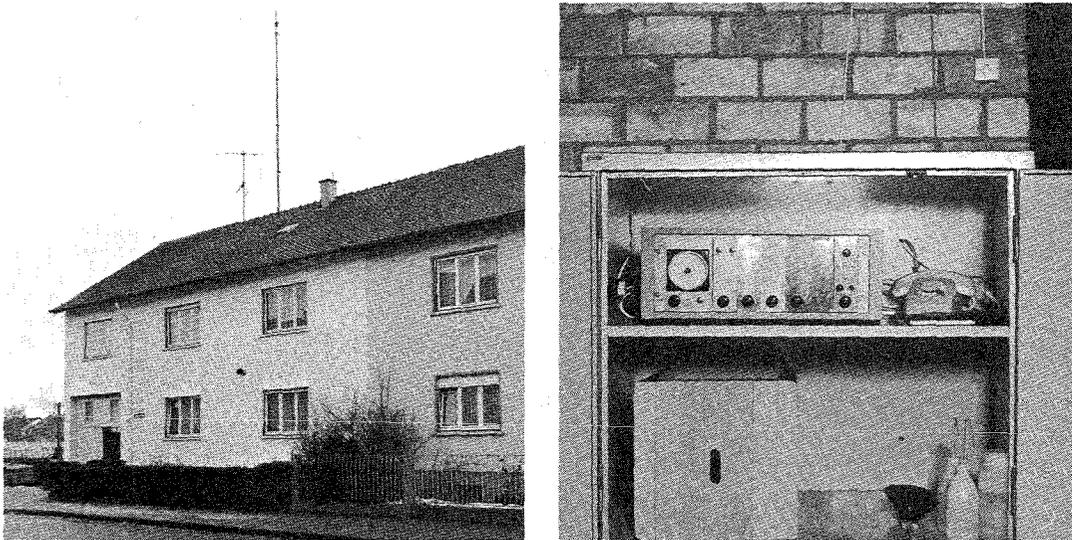


Abb. 11: Zählrohrstation;  
Kurbelmast mit Zählrohr auf dem Dach eines Wohn-  
hauses und zugehöriger Geräteschrank

2 Meßhütten, 25 Detektoren der Zählrohr-Monitor-Anlage (Abb. 12) und 50 Dreibeine mit daran aufgehängten Phosphatglas-Dosimetern stehen auf dem Gelände des Kernforschungszentrums. Im Mai 1970 wurde die Zählrohr-Monitor-Anlage um 6 Meßstellen zur Überwachung der Wiederaufbereitungsanlage (WAK) erweitert.

Während die Zählrohre der 6 Meßstellen auf dem Gelände der WAK zur Messung des  $(\beta+\gamma)$ -Strahlenpegels dienen, sind die 25 Zählrohre auf dem Gelände des Kernforschungszentrums mit Energiekompensationsfiltern ausgestattet und messen die  $\gamma$ -Dosisleistung. 5 Meßstellen sind mit je zwei Detektoren mit unterschiedlichen Meßbereichen bestückt (Abb. 13).

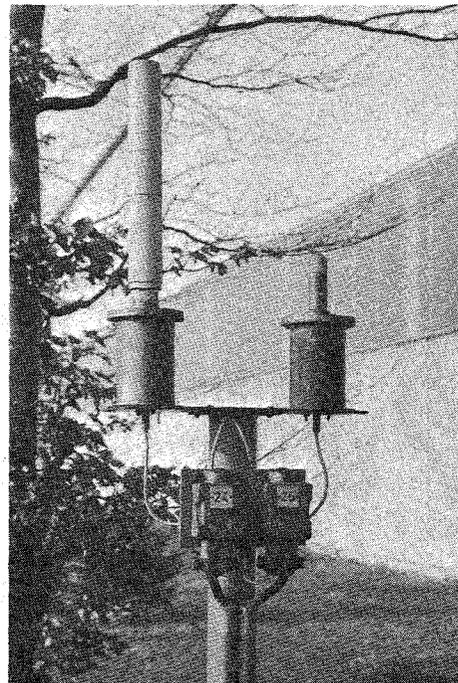


Abb. 13: Doppelmeßstelle  
der Zählrohr-  
Monitor-Anlage

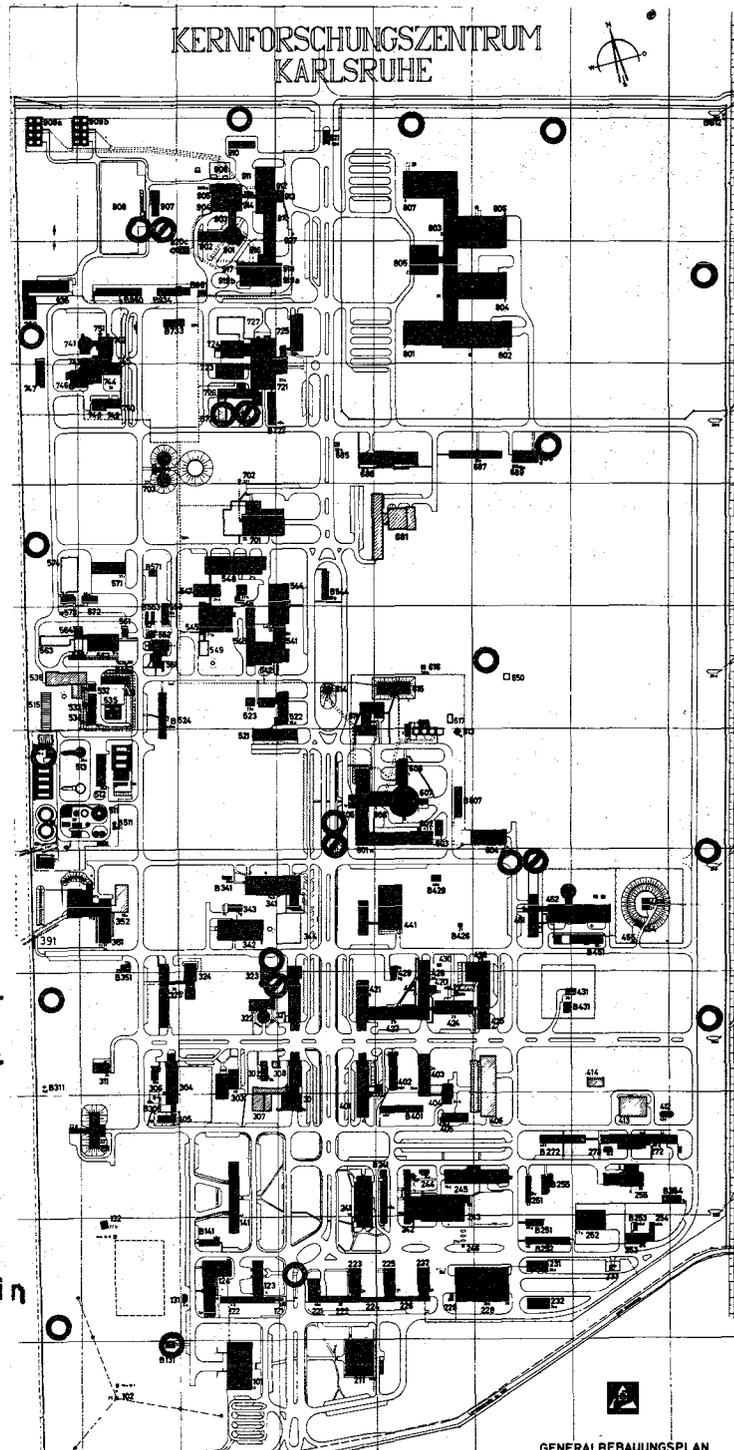
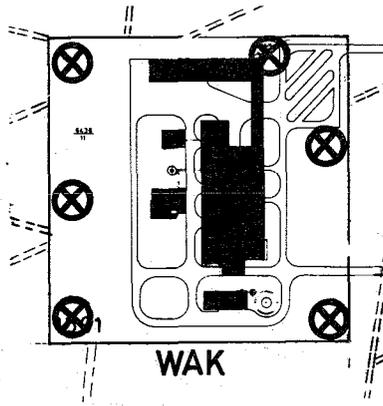


Abb. 12: Meßstellenplan der Zählrohr-Monitor-Anlage

- $10^{-2} - 10$  mR/h
- ⊙  $10^{-2} - 10^3$  R/h
- ⊗  $2 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^5$  Imp/min

Der Meßbereich der Niederdosismeßstellen reicht von 0,01 bis 10 mR/h. Die zugehörige Warnschwelle liegt bei 1 mR/h. Der Meßbereich der Hochdosismeßstellen wurde 1970 beträchtlich erweitert. Er schließt sich an den Niederdosismeßbereich an und reicht bis 1 000 R/h. Die Alarmschwelle wurde auf 100 mR/h eingestellt.

Alle Anzeige- und Registriergeräte zur Zählrohr-Monitor-Anlage befinden sich in der Umgebungsüberwachungszentrale (Abb. 14).

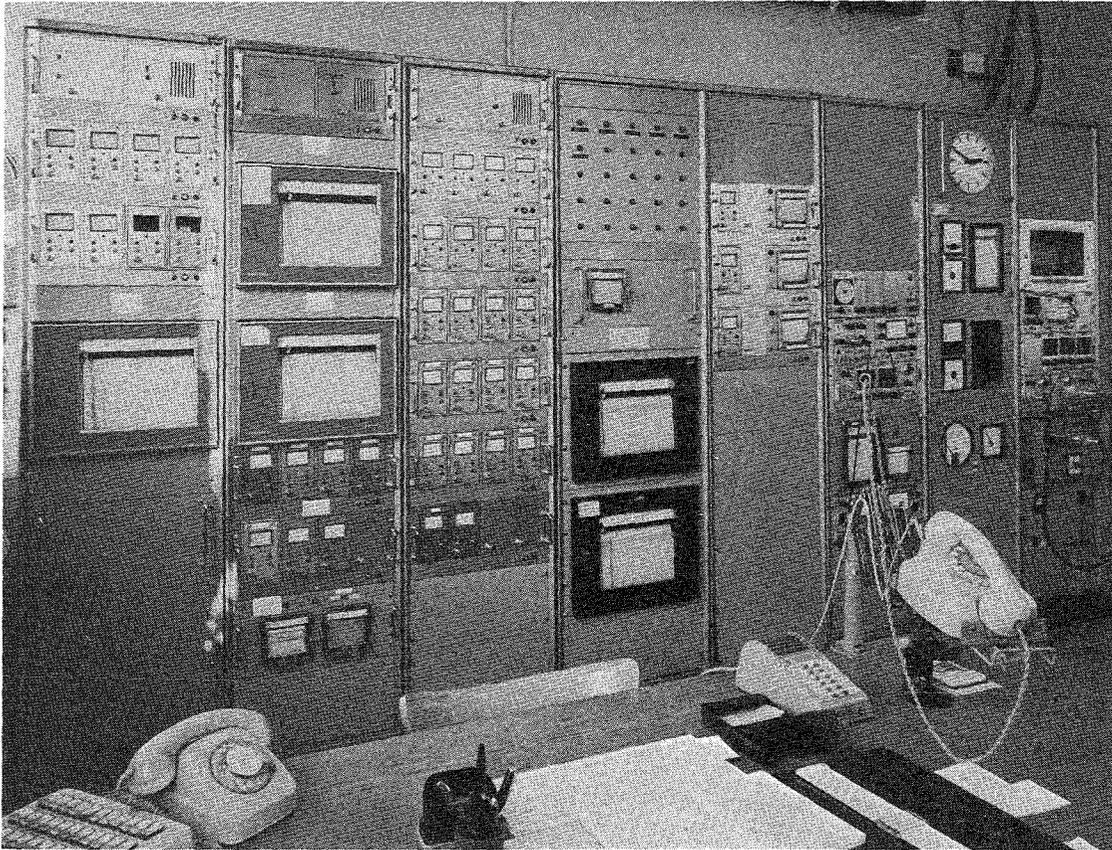


Abb. 14: Anzeige- und Registriergeräte in der Umgebungsüberwachungszentrale

Im Zusammenhang mit der Einrichtung neuer Meßstellen und der Fertigstellung aller notwendigen Übertragungen von Alarmsignalen zur Alarmzentrale des Kernforschungszentrums waren auch 1970 wieder umfangreiche Kabelverlegungsarbeiten durchzuführen. Für das gesamte Meßstellennetz zur Umgebungüberwachung wurden damit bisher insgesamt rund 35 000 m Meß- und Signalkabel verlegt.

Das Routineprogramm zur Direktmessung der Strahlung wurde auch 1970 durch 193 zusätzliche Glasdosimeter-Meßstellen ergänzt, die zur Ermittlung der örtlichen Verteilung der akkumulierten  $\gamma$ -Dosis in der Umgebung dienen sollen. Diese zusätzlichen Meßstellen sind in 5 konzentrischen Ringen angeordnet. Die Radien betragen 100 m, 250 m, 1 km, 2 km und 3 km. Ein großer Teil dieser Meßstellen war 1970 außerdem mit Thermolumineszenz-Dosimetern ausgestattet.

Die im Rahmen des zweiten Programmteils zur Aktivitätsbestimmung erfolgten Probenahmen wurden durch zahlreiche Sonderprobenahmen ergänzt. Die Lage der Probenahmestellen zeigt Abbildung 15. Eine Übersicht über Art und Zahl der 1970 genommenen und ausgemessenen Proben bietet Tabelle 17.

Während der am FR 2 vorgenommenen turnusmäßigen Brennelementwechsel, die von einer Emission von tritiiertem Wasser über die Abluft begleitet sind, wurden zur Überwachung der Immission in der Umgebung des Abluftkamins Luftfeuchteproben ausgefroren.

In 80 von insgesamt 93 Proben konnten geringe Tritiumkonzentrationen bis zu maximal 208 pCi/ml nachgewiesen werden.

Eine besondere Überwachung der Tritium-Immission in der Umgebung der schwerwassermoderierten Reaktoren MZFR und FR 2 wird immer dann durchgeführt, wenn mit überdurchschnittlichen Tritiumemissionen zu rechnen ist. 1970 gab es dazu insgesamt 14 Anlässe. Je nach Wetterlage werden Luftfeuchte- oder Niederschlagsproben gesammelt. Die Entfernungen der Sammelstellen vom Emissionsort reichen von 100 m bis 3 km.



Abb. 15: Lageplan der Meß- und Probenahmestellen zur Umgebungsüberwachung des Kernforschungszentrums

Art der Proben	Zahl der Probenahmen 1970
Biologische Proben	64
Boden und Bewuchs	46
Niederschlag	271
Grund-, Trink- und Oberflächenwasser	145
Luftstaub auf Festfiltern	279
Luftfeuchte zur Tritium-Bestimmung	61

Tab. 17: Proben zur Bestimmung der Umweltradioaktivität

Die am 14. Oktober 1970 in China erfolgte oberirdische Zündung einer Wasserstoffbombe war der Anlaß für eine intensivierte Überwachung des Luftstaubs und der Niederschläge. Außer Bruttoaktivitätsmessungen und spektroskopischen Untersuchungen wurden in diesem Zusammenhang Jodanalysen des Niederschlags durchgeführt, die knapp 3 Wochen nach der Explosion geringfügige Auswirkungen erkennen ließen.

1970 aufgetretene Diskrepanzen zwischen den mittels Eindampfverfahren und mittels Fällungsverfahren erzielten Meßergebnissen der Bruttoaktivität in Wasserproben veranlaßten uns zu einer detaillierten Untersuchung des angewandten Anreicherungsverfahrens durch chemische Mitfällung und Adsorption. Obwohl diese Untersuchungen noch nicht abgeschlossen sind, kann festgestellt werden, daß einige der dem Wasser verfahrensbedingt zugesetzten Chemikalien eine erhebliche Eigenaktivität aufwiesen. Diese Erfahrungen zeigen, daß zumindest im Falle von low level-Messungen auf eine sorgfältige Überprüfung der eingekauften Chemikalien nicht verzichtet werden kann.

Zur Einengung größerer Wassermengen, wie sie z. B. zur Plutoniumbestimmung im Niederschlag erforderlich ist, kommt ein Vakuum-Rotationsverdampfer zum Einsatz (Abb. 16) mit einer Verdampfungsleistung von  $\approx 3$  l/h.

Die Niederschlagssammlung erfolgt an zwei Stellen mit Naßsammelwannen, deren Auffangfläche  $1,15 \text{ m}^2$  beträgt. Zur Naßsammlung werden die Wannens, über einen Naßfühler gesteuert, ständig mit ca. 2 cm destilliertem Wasser angefüllt. Der Niederschlag und dieses zugesetzte Wasser gelangen durch ein Oberlaufrohr zusammen in ein Sammelgefäß. Die auf diese Weise monatlich anfallende Gesamtwassermenge kann bis zu 150 l betragen.

Der Rotationsverdampfer findet auch zur Trockendestillation von Bewuchs- und Bodenproben Verwendung.

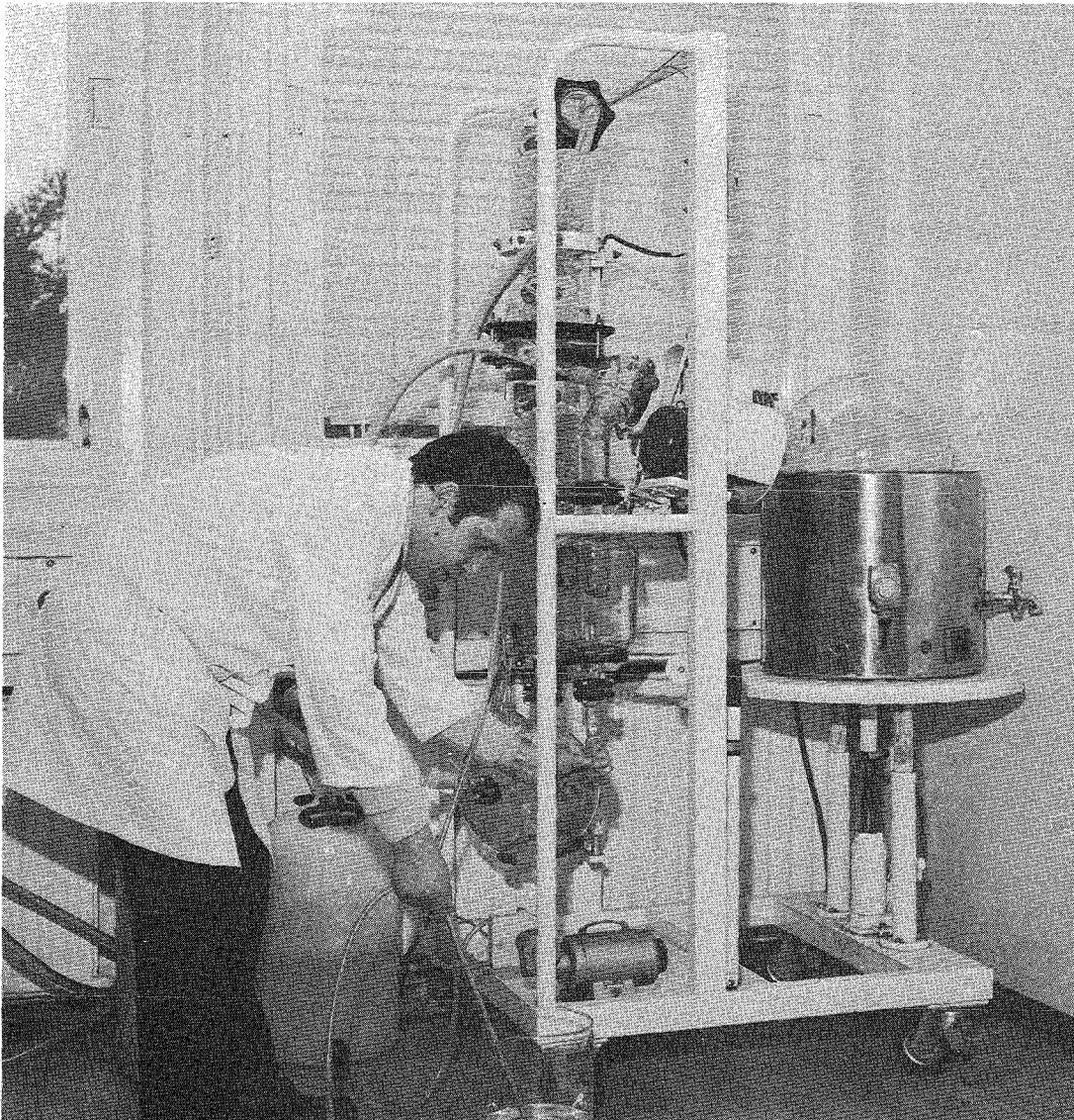


Abb. 16: Vakuumverdampfer

Im folgenden wird das 1970 zur Umgebungsüberwachung durchgeführte Überwachungsprogramm in tabellarischer Form skizziert. Außerdem wurde versucht, durch Bildung von Jahresmittelwerten oder durch Angabe der Schwankungsbereiche der Monatswerte eine Übersicht über die Fülle von Einzelmeßergebnissen zu geben. Die Reihenfolge der Tabellen folgt der eingangs notierten Gliederung des Überwachungsprogramms.

Zur Durchführung aller Meß- und Inspektionsfahrten und zur Probenahme standen zwei mit Funk ausgerüstete Fahrzeuge zur Verfügung, die 1970 insgesamt 11 070 km zurücklegten.

I. Direktmessung der Strahlung

Programmpunkt I.1

Oberwachungseinrichtung	Meßgrößen	Auswertungsform	Zahl der Meßstellen
Zählrohraußenstationen*  Zählrohre BZ 120 Impulsspeicher telef. abfragbar	( $\beta+\gamma$ )- Pegel	Monatsmittel, gebildet aus den Impulsraten der täglichen Abfragen und min. u. max. Abfragewert	8

\*Zählrohrstationen wurden in allen dem KFZK benachbarten Ortschaften aufgebaut, siehe Abb. 15

Meßergebnisse zu I.1

Meßstellenstandorte	( $\beta+\gamma$ )-Strahlungspegel in Imp/min		
	Jahresmittel	min. Abfragewert	max. Abfragewert
KFZK	443	242	1280
Leopoldshafen	487	260	1620
Linkenheim	506	258	1585
Forsthaus, nördl. KFZK	450	234	1262
Friedrichstal	435	213	1195
Blankenloch	501	320	1500
Karlsruhe	373	213	1058
Eggenstein	485	270	1480

Programmpunkt I.2.1

Oberwachungs- einrichtung	Meß- größen	Auswertungsform	Zahl der Meßstel- len
Zählrohr-Monitor- Anlage zur Gelän- deüberwachung Zählrohre BZ 120 mit Energiekom- pensationsfilter	$\gamma$ -Dosis- leistung	Berichterstattung nur bei Ober- schreitungen der Warn- oder Alarm- schwellen	
Detektoren mit Warnschwelle bei 1 mR/h			20
Detektoren mit Alarmschwelle bei 100 mR/h			5

Der Nulleffekt der  $\gamma$ -Dosisleistung  $\dot{D}_0$  im Gelände des KFZK liegt zwischen 0,01 und 0,02 mR/h. Demgegenüber kann  $\dot{D}$  an einigen Meßstellen zeitweise, bedingt durch bestimmte Betriebszustände benachbarter kerntechnischer Anlagen, Werte zwischen 0,06 und 0,1 mR/h annehmen. Im Jahre 1970 sind insgesamt 44, fast immer sehr kurzfristige (< 5 min), Überschreitungen der Warnschwelle von 1 mR/h registriert worden. Den Lageplan für die Meßstellen der Zählrohr-Monitor-Anlage zeigt Abb. 12.

Programmpunkt I.2.2

Oberwachungs- einrichtung	Meß- größen	Auswertungsform	Zahl der Meßstel- len
Zählrohr-Monitor- Anlage zur Gelän- deüberwachung der WAK Zählrohre BZ 120 ohne Energiekom- pensationsfilter	( $\beta$ + $\gamma$ )- Strahlen- pegel	Berichterstattung nur bei Ober- schreitungen der Warnschwelle	6
Warnschwelle bei 10fachem Nullpegel $R_0$ ( $R_0 \approx 400$ ipm)			

Programmpunkt I.3

Oberwachungseinrichtung	Meßgröße	Auswertungsform	Zahl der Meßstellen
Phosphatglas-Dosimeter	akkumulierte $\gamma$ -Dosis	Bestimmung der örtlichen Verteilung der Jahresdosis	
Entlang der Geländegrenzen des KFZK			100
Konzentr. Ringe um das KFZK von 1, 2 und 3 km Radius			108
Entlang der Geländegrenzen der WAK			6
An den Standorten der Zählrohraußenstationen			8

Die Abbildung 17 zeigt die mit Glasdosimetern bestimmten Mittelwerte der Halbjahresdosen:

- a) entlang der Geländegrenzen des KFZK
- b) in 3 konzentrischen Ringen bis zu 3 km Entfernung vom KFZK.

Die Messungen der akkumulierten  $\gamma$ -Dosis erfolgten seit 1966 jeweils in den Monaten Mai und November. Es lassen sich keine signifikanten Unterschiede in der Dosisbelastung zwischen Umgebung und Kernforschungszentrum erkennen.

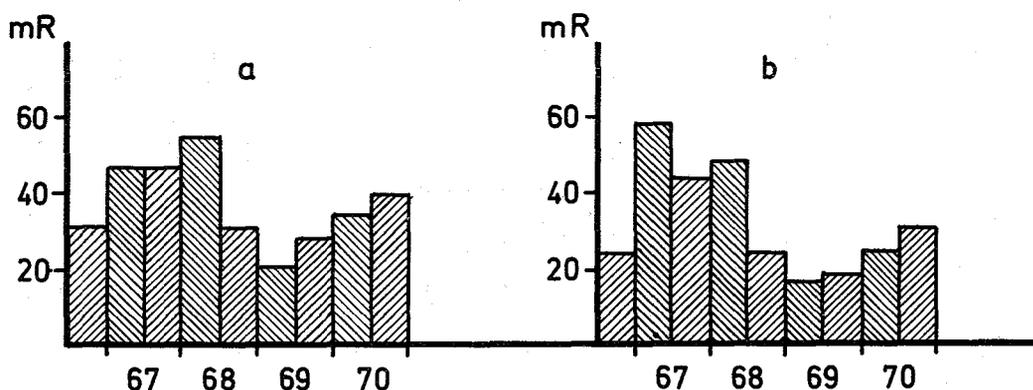


Abb. 17: Halbjahresdosis, Kernforschungszentrum und Umgebung

II. Aktivitätsmessungen

Programmpunkt II.1

Oberwachtes Medium	Meßgrößen	Probenahme	Zahl der Sammelstellen
Aerosolgehalt der Luft	langlebige $\alpha$ - und $\beta$ -Aktivität nach ca. 7 Tagen	2 x wöchentlich mit feststehenden Einzelfiltern	2
	$\alpha$ -Aktivität nach 5 Tagen, $\beta$ -Aktivität 5-6 Std. nach Bestäubungsende bei 6 Std. Bestäubungszeit	Kontinuierlich mit Schrittfilterbandanlage	1

Meßergebnisse zu II.1

Probenahmestellen	Spezifische $\beta$ -Bruttoaktivität in pCi/m <sup>3</sup>	
	Jahresmittel	Max. Monatsmittel; Monat
Festfilter in der Meßhütte West	0,17	0,43 (Juni)
Festfilter in der Meßhütte Ost	0,20	0,45 (Juni)
Schrittfilteranlage auf dem Dach des Strahlenschutzgebäudes	12,1	18,2 (Sept.)

Die Einzelwerte der  $\alpha$ -Aktivität schwankten zwischen < 0,001 und 0,005 pCi/m<sup>3</sup>.

Programmpunkt II.2

Oberwachtes Medium	Meßgrößen	Probenahme	Zahl der Sammelstellen
Niederschlag	$\alpha$ - und $\beta$ -Bruttoaktivität	14tägige Sammlung mit Hiberniatrictern	3
	Tritium-Aktivität	14tägige Sammlung mit Hiberniatrictern	3
	Plutonium-Aktivität	monatliche Sammlung mit Naßsammelwannen und Hiberniatrichter	2
			1

Meßergebnisse zu II.2

Probenahme- stellen	$\beta$ -Bruttoaktivität				
	integr. Jahres- wert in mCi/km <sup>2</sup>	Konzentrationswerte in pCi/l			
		Max.	gemes- sen im	Min.	gemes- sen im
Meßhütte West	45	148	Juni	16	Dez.
Meßhütte Nordost	43	123	Juni	24	Jan.
WAK	39	173	Juni	13	Jan.
Probenahme- stellen	Pu-Aktivität in $\mu$ Ci/km <sup>2</sup>		<sup>3</sup> H in pCi/ml		
	integr. Jahres- wert	Schwankungsbereich der Monatswerte			
Meßhütte West	14,1	0,1 bis 13,6	< 6 bis 33		
Meßhütte Nordost	30,7				
WAK	52,1				

Programmpunkt II.3

Oberwachtes Medium	Meßgrößen	Probenahme	Zahl der Entnahmestellen
Oberflächenwasser	Tritium-Aktivität	kontinuierlich	1
Grund- und Trinkwasser	langlebige $\alpha$ - und $\beta$ -Aktivität (abzügl. $^{40}\text{K}$ ) nach ca. 7 Tagen	wöchentlich	1
		1/4jährlich	4
		1/2jährlich	1

Meßergebnisse zu II.3

Probenahmestelle	Jahresmittelwerte		
	$\beta$ -Bruttoaktivität in pCi/l	$\alpha$ -Bruttoaktivität in pCi/l	$^3\text{H}$ -Aktivität in pCi/ml
Oberflächenwasser (Hirschgraben)	< 2,8	< 2,2	< 8
Grund- und Trinkwasserproben von 4 Wasserwerken und 2 Schluckbrunnen	<1,2 bis 4,1	<1,7 bis 5,7	< 7

Programmpunkt II.4

Oberwachtetes Medium	Meßgrößen	Probenahme	Zahl der Probenahmestellen
Schlamm	langlebige $\alpha$ - und $\beta$ -Aktivität nach ca. 7 Tagen	monatlich	1
	langlebige $\alpha$ - und $\beta$ -Aktivität nach ca. 7 Tagen und Pu-Aktivität	1/4jährlich	1
Plankton	langlebige $\alpha$ - und $\beta$ -Aktivität nach ca. 7 Tagen und Pu-Aktivität	1/4jährlich	1
Fisch	langlebige $\beta$ -Aktivität nach ca. 7 Tagen (abzügl. $^{40}\text{K}$ )	1/2jährlich	1
Wasserpflanzen	langlebige $\beta$ -Aktivität nach ca. 7 Tagen (abzügl. $^{40}\text{K}$ )	1/2jährlich	1
Bewuchs Futterpflanzen	langlebige $\beta$ -Aktivität nach ca. 14 Tagen (abzügl. $^{40}\text{K}$ )	1/2jährlich	3
vorwiegend Kiefern- nadeln	Pu-Aktivität	1/4jährlich	5

Meßergebnisse zu II.4

Probenahme- stelle	Jahresmittel in pCi/g Tr.	
	$\alpha$ -Bruttoaktivität	$\beta$ -Bruttoaktivität
Schlamm Hirschgraben Altrhein	9 14	20 27
Plankton Altrhein	19	48
Fisch Altrhein	Schwankungsbereich der $\beta$ -Aktivität (abzügl. $^{40}\text{K}$ )	
	< 0,3 bis 1,5 pCi/g Naßgewicht	
Wasserpflanzen Altrhein	3 bis 25 pCi/g Trockengew.	
Bewuchs 3 Probenahme- stellen	5 bis 37 pCi/g Trockengew.	
	Schwankungsbereich der Pu-Aktivität	
	5 Probenahme- stellen 0,001 bis 0,019 pCi/g Naßgewicht	

### 3.5 Personenüberwachung

#### 3.5.1 Externe Dosis

E. Piesch

Die Eigenüberwachung aller Mitarbeiter des Kernforschungszentrums Karlsruhe mit Phosphatglasdosimetern dient zur Ermittlung einer zusätzlich zur natürlichen Strahlenbelastung vorhandenen beruflichen Strahlenbelastung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Sie ermöglicht sowohl die Feststellung der akkumulierten Jahresdosis für jede Einzelperson als auch die Ermittlung einer mittleren Jahresdosis für einen bestimmten Personenkreis (Abb. 18).

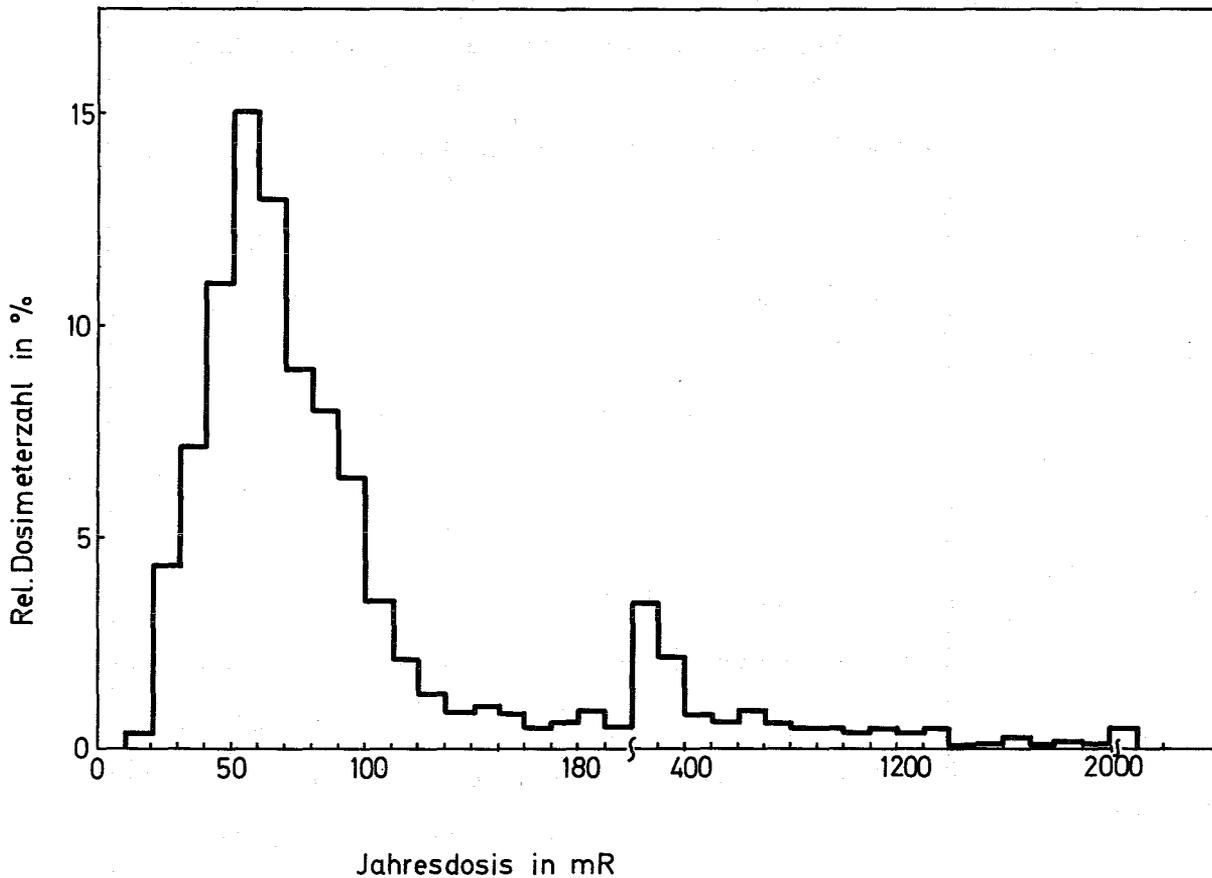


Abb. 18 Strahlenbelastung der Mitarbeiter im Jahre 1970

Im Jahre 1970 wurden ca. 4 500 Personen im KFZK mit Phosphatglas-Kugeldosimetern überwacht. Die Auswertung der Dosimeter erfolgt bei Bedarf sofort, sonst monatlich, spätestens jedoch halbjährlich. Im Berichtsjahr 1970 wurden insgesamt 14 100 Ausmessungen durchgeführt. Die gemessene mittlere Jahresdosis in den einzelnen Instituten und Abteilungen des Kernforschungszentrums lag zwischen 40 mR und 590 mR. Die für Bereiche mit beruflicher Strahlenbelastung gefundenen mittleren Jahresdosiswerte einschließlich natürlicher Strahlenbelastung sind in Tabelle 18 wiedergegeben.

	mR
Heiße Zellen	587
Dekontamination	465
Reaktorbetrieb (FR 2, Stark)	367
Zyklotron	370
Strahlenschutz im Kontrollbereich	328
Radiochemie	260
Physikalische Inst.	83

Tab. 18: Mittlere Jahresdosis 1970 für Bereiche mit beruflicher Strahlenbelastung

In Bereichen ohne signifikante berufliche Strahlenbelastung können Unterschiede der gemessenen natürlichen Bestrahlungsdosis auf die jeweiligen Baulichkeiten zurückgeführt werden (Tab. 19).

Holzbaracken	40 mR
Literaturabteilung	48 mR
Betonbau	64 mR

Tab. 19: Mittlere Jahresdosis 1970 für Bereiche ohne berufliche Strahlenbelastung

Phosphatglasdosimeter wurden weiterhin an verschiedene auswärtige Stellen ausgegeben und von uns ausgewertet. Ebenso wurden Vergleichsmessungen mit verschiedenen Dosimetern innerhalb der routinemäßigen Personenüberwachung durchgeführt.

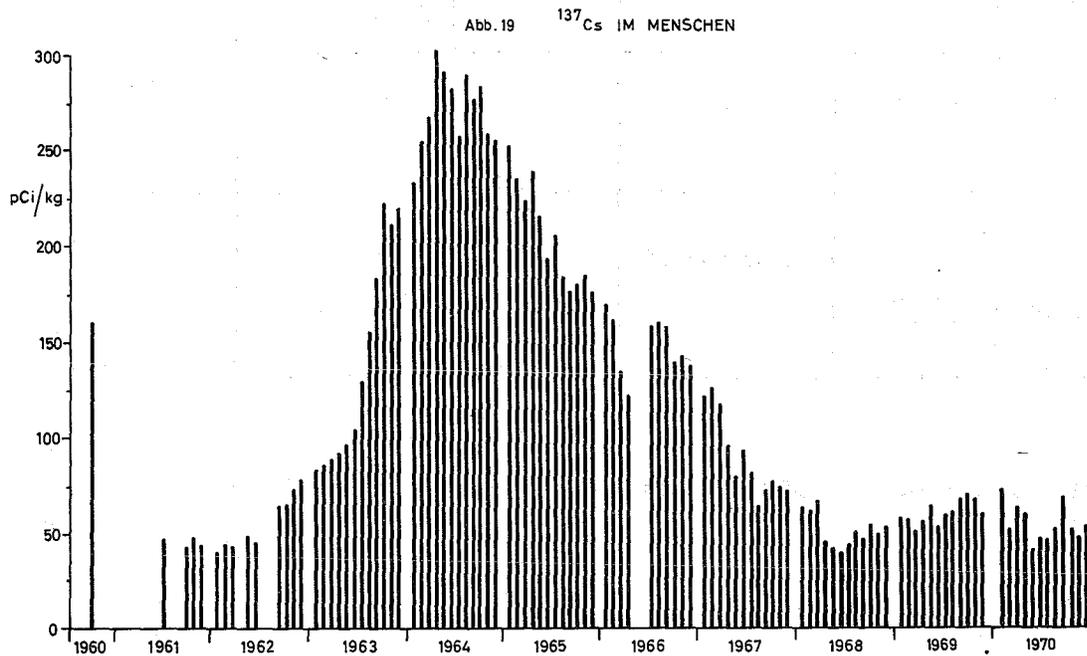
Außerdem wurden LiF-Dosimeter routinemäßig zur Teilkörperdosimetrie eingesetzt. Diese Dosimeter werden hauptsächlich als Fingerdosimeter und Armbanddosimeter getragen. Im Jahre 1970 wurden insgesamt 2 200 LiF-Dosimeterplättchen ausgemessen.

### 3.5.2 Inkorporationsmessungen

*H. Fessler*

Der Karlsruher Human Body Counter dient zur routinemäßigen Inkorporationsmessung von Angehörigen der Gesellschaft, soweit sie mit offenen radioaktiven Stoffen umgehen, sowie zu Untersuchungen nach Zwischenfällen und zur Ausmessung von Pflanzen und Bodenproben. Da diese Meßanlage Eigentum des Landes Baden-Württemberg und der Gesellschaft für Kernforschung ist, werden auch Messungen in Zusammenarbeit mit dem Landesinstitut für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin durchgeführt.

Bei einer Referenzgruppe von rund 30 männlichen und weiblichen Personen wird seit 1961 der Gehalt von Fallout-Radionukliden mit dem Human Body Counter ermittelt. Die Meßergebnisse werden vom Bundesgesundheitsamt in Berlin statistisch ausgewertet.  $\gamma$ -spektroskopisch konnten außer  $^{137}\text{Cs}$  keine anderen Fallout-Radionuklide nachgewiesen werden. Im Jahre 1970 wurden für den mittleren Cäsium-Gehalt der Vergleichsgruppe 27 pCi/kg gemessen (Höchstwert 304 pCi/kg im Jahre 1964) (Abb. 19).



Im Berichtszeitraum 1970 wurden im Human Body Counter insgesamt 2 739 Messungen durchgeführt, das sind 33 % mehr als im Jahre 1969. Hierbei entfielen auf

Personen	2 279
Tiere	248
Pflanzen- und Bodenproben	92
sonstige Messungen	76
Phantomkalibrierungen	44

In Tab. 20 und Tab. 21 sind die Zahl der durchgeführten Inkorporationsmessungen sowie der Betrag der festgestellten Inkorporationen in Prozent der zulässigen Körperbelastung wiedergegeben.

Anzahl der Messun- gen	GfK	Landes- institut	Fremd- firmen	Zwischen- fälle GfK	Summe
	1569	81	603	26	2 279
Inkorpor- ationen	44 (2,8%)	unbekannt	56 (9,3%)	9 (34,6%)	

Tab. 20: Inkorporationsmessungen im Human Body Counter 1970

	< 0,01%	0,01-0,1%	0,1-1,0%	1,0-10%	10-100%
<sup>60</sup> Co	-	12	41	4	-
<sup>137</sup> Cs	3	29	1	-	-
<sup>131</sup> I	-	2	-	-	-
<sup>58</sup> Co	1	23	4	-	-
<sup>65</sup> Zn	-	5	-	-	-
<sup>59</sup> Fe	-	1	-	-	-
<sup>110m</sup> Ag	-	7	-	-	-
<sup>232</sup> Th	-	-	-	-	1
<sup>95</sup> Nb- <sup>95</sup> Zr	1	3	1	-	-
<sup>54</sup> Mn	1	6	-	-	-
<sup>7</sup> Be	3	-	-	-	-
<sup>103</sup> Ru	1	1	-	-	-
<sup>38</sup> Cl	-	-	2	-	-

Tab. 21: Inkorporierte Aktivität in Prozent der zulässigen Körperbelastung

#### 4. Strahlenschutzmessmethoden

##### 4.1 Dosisleistungsmessungen

###### 4.1.1 Verhalten von Dosisleistungsmessgeräten in starken Magnetfeldern

H. Michel

Am Zyklotron wurden im magnetischen Feld eines Experimentiermagneten Dosisleistungsmessungen mit Geräten verschiedener Hersteller durchgeführt. Die magnetische Induktion betrug etwa 400 Gauß. Als  $\gamma$ -Strahler diente eine  $^{60}\text{Co}$ -Quelle. Diese wurde so justiert, daß alle Geräte - bei ausgeschaltetem Magneten - eine Dosisleistung von 50 mR/h anzeigten. Beim Einschalten des Magneten traten bei allen Geräten, bei denen Detektor und Anzeigeteil nicht räumlich getrennt waren, erhebliche Empfindlichkeitsminderungen der Drehspulmeßwerke auf, so daß diese anschließend erneuert werden mußten.

In einer zweiten Meßreihe wurden Geräte benutzt, bei denen das Anzeigeteil in 5 m Entfernung vom Detektor und damit vom Magnetfeld aufgestellt werden konnte. Die Meßergebnisse zeigten nur noch geringe Abweichungen bei eingeschaltetem Magneten.

###### 4.1.2 Verhalten von Dosisleistungsmessgeräten bei gepulster Strahlung

E. Piesch

Das Verhalten von Dosisleistungsmeßgeräten in gepulsten Strahlungsfeldern wird im wesentlichen bestimmt durch die Höhe der Dosisleistung, die Pulsdauer und die Pulsfrequenz der Strahlung sowie durch die Art des Detektors und der Meßgeräteelektronik.

Bei  $\gamma$ -Detektoren muß in jedem Fall überprüft werden, ob bei der Dosisleistung während der Pulsdauer keine Sättigung eintritt. Meßgeräte mit Geiger-Müller- und Proportionalzählern sind hierbei gegenüber Ionisationskammern benachteiligt.

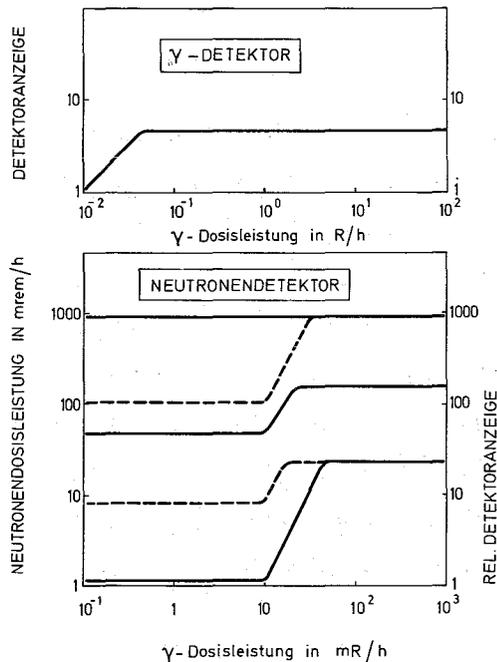


Abb. 20 Verhalten von Meßgeräten bei gepulster  $\gamma$ -Strahlung

Neutronenmessungen im Mischstrahlungsfeld eines Betastrons (Pulsdauer  $1 \mu\text{s}$ , 50 Pulse/s) werden dadurch erschwert, daß die meisten Proportionalzähler und Remcounter eine relativ große  $\gamma$ -Empfindlichkeit aufweisen und bei hohen  $\gamma$ -Dosisleistungen u. U. den  $\gamma$ -Puls als Impuls zählen.

Messungen am Zyklotron zeigten bei einer  $\gamma$ -Dosisleistung von  $\geq 50 \text{ mR/h}$  (1 000 R/h während des Pulses) eine solche Fehlanzeige:

Rem-counter ( $^6\text{LiJ}$ -Kristall): 50 Impulse/s ( $\hat{=}$  25 mrem/h)  
 Hurst-Proportionalzähler : 50 Impulse/s

Neutronendosisleistungsmeßgeräte können entsprechend ihrer unterschiedlichen  $\gamma$ -Empfindlichkeit schon unterhalb der Sättigung bei relativ kleinen  $\gamma$ -Dosisleistungen eine zu hohe Neutronendosisleistung anzeigen, bei  $\gamma$ -Dosisleistungen oberhalb der Sättigung wird jedoch nur die Pulsfrequenz angezeigt (s. Abb. 20).

#### 4.1.3 Neutronenmessungen im Strahlenkegel eines 18 MeV-Betastrons

E. Piesch

Es sollten die durch  $(\gamma, n)$ -Reaktionen an einem Siemens-Betastron entstehenden Neutronen bei Betrieb mit 18 MeV-Elektronen und einem Platin-Target im Strahlenkegel mit Aktivie-

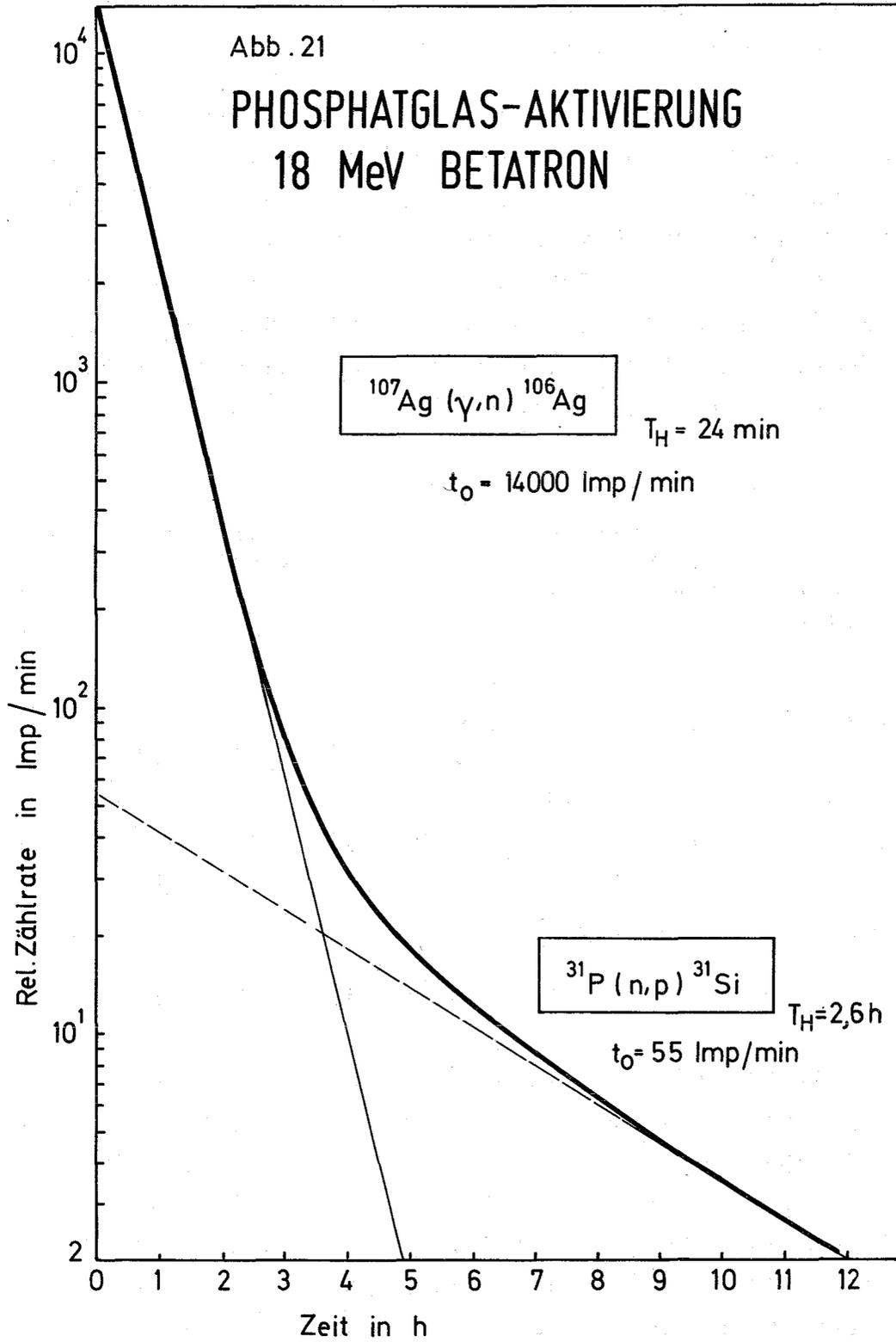
rungsdetektoren gemessen werden. Die Strahlaustrittsöffnung innerhalb einer 10 cm dicken Bleiwand war auf eine 4 m entfernte Gebäudewand gerichtet. Die  $\gamma$ -Dosisleistung betrug im Strahlenkegel in 50 cm Entfernung vom Target 150 R/min.

Mit Au-, In- und Cu-Folien konnten keine nennenswerten Anteile von thermischen und mittelschnellen Neutronen nachgewiesen werden. Die Messungen schneller Neutronen erfolgten mit Schwefelsonden und Phosphatgläsern bzw. mit einem "long-counter" bestehend aus einer In-Folie in einer Polyäthylenkugel von 11 bzw. 14 cm Durchmesser. Die Ergebnisse sind in Tabelle 22 wiedergegeben. Die Neutronenquellstärke beträgt demnach im Strahlenkegel etwa  $2 \cdot 10^9$  n/s.

Reaktion	Energie MeV	Entf. cm	Neutronenfluenz n/cm <sup>2</sup>	
$^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$	>2,5	20	$1,3 \cdot 10^8$	
$^{31}\text{P}(n,p)^{31}\text{Si}$	>2,5	20	$1 \cdot 10^8$	
		30	$1,5 \cdot 10^8$	
		50	$0,45 \cdot 10^8$	
"long-counter"	0,1-10	50		
14 cm $\varnothing$				$1,04 \cdot 10^8$
11 cm $\varnothing$				$1,26 \cdot 10^8$

Tab. 22: Neutronenmessung im Strahlenkegel eines Betatrons

Mit dem Phosphatglas (Yokotaglas  $8 \cdot 8 \cdot 4,7$  mm<sup>3</sup>) konnten Aktivierungsanteile der Reaktion  $^{31}\text{P}(n,p)^{31}\text{Si}$  sowie der Reaktion  $^{107}\text{Ag}(\gamma,n)^{106}\text{Ag}$  nachgewiesen werden (Abb. 21). Damit ist es grundsätzlich möglich, mit den auf die Bestrahlungsdauer und den radioaktiven Zerfall korrigierten Zählratenanteilen von  $^{106}\text{Ag}$  und  $^{31}\text{Si}$  die Teilchenfluenz bzw. Dosis hochenergetischer  $\gamma$ -Strahlung und gleichzeitig die Neutronenfluenz an einem Beschleuniger mit demselben Dosimeter zu ermitteln.



#### 4.1.4 Dosisleistungsmessung mit einem Grossflächen-Durchflußzähler in Verbindung mit einem elektrostatischen Relais

J. Pawelzik

Es wurde die Möglichkeit untersucht, einen Großflächen-Durchflußzähler in Verbindung mit einem elektrostatischen Relais zur direkten Dosisleistungsmessung zu verwenden. Wegen der Betriebsart des elektrostatischen Relais mußte die negative Hochspannung auf den Zählermantel gelegt werden. Beim Vergleich mit einem Proportionalzähler Tol/E wurde zwischen der Schaltfolge des elektrostatischen Relais und der Dosisleistung eine lineare Beziehung über 3 Dekaden erhalten. Für den Nullpegel beträgt die Schaltfolge 10 Imp/h.

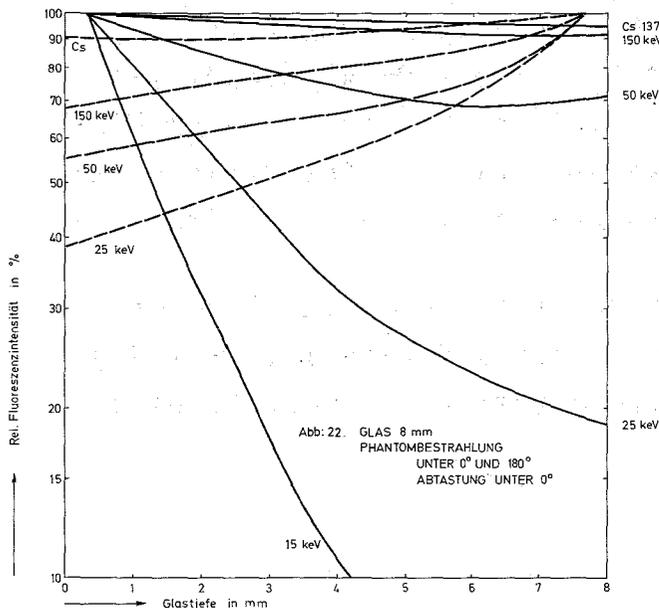
#### 4.2 Dosimetrie

##### 4.2.1 Phosphatglasdosimetrie

B. Burgkhardt, E. Piesch

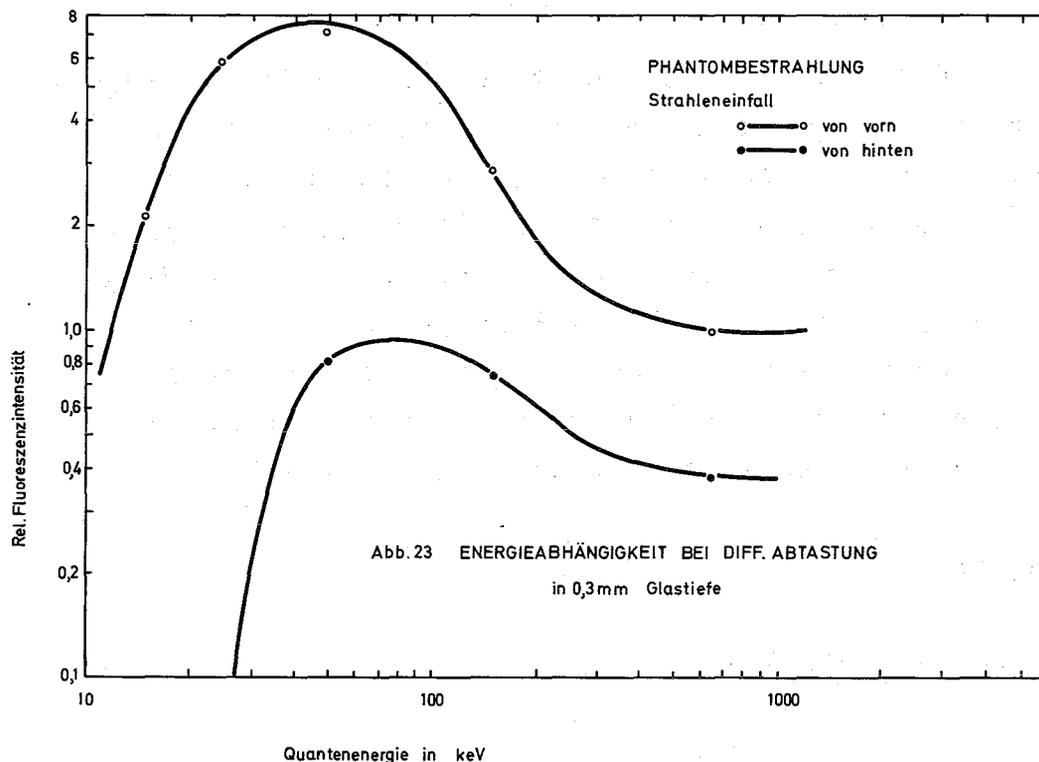
##### 4.2.1.1 Differentielle Auswertung von Phosphatgläsern in der Personendosimetrie

Es wurden Meßreihen an einem Alderson-Menschphantom durchgeführt, um den Einfluß des Körpers auf die differentielle Anzeige des Phosphatglases für verschiedene Strahleneinfallrichtungen zu untersuchen (11).



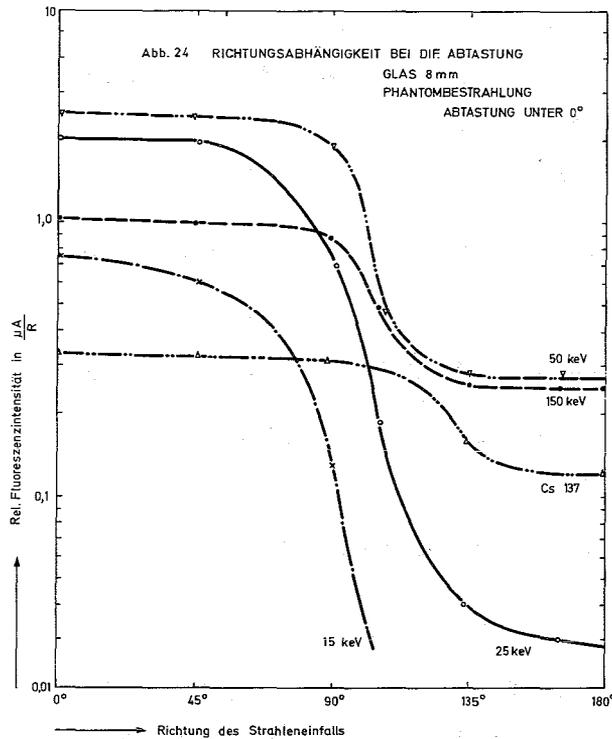
Die Ergebnisse der Phantombestrahlungen, die mit dem Glas der Größe  $8 \cdot 8 \cdot 4,7 \text{ mm}^3$  für eine Bestrahlung der Glasstirnfläche unter  $0^\circ$  und unter  $180^\circ$  erhalten wurden, sind in Abbildung 22 wiedergegeben. Aus dem

Abfall der Tiefendosisverteilung kann bei einer Phantombestrahlung die Strahlenqualität ermittelt und die Richtung des Strahleneinfalles (Bestrahlung der Phantomvorderseite oder der Phantomrückseite) bestimmt werden.



Die Energieabhängigkeit der Dosisanzeige ist in Abbildung 23 für die Strahleneinfallrichtung unter  $0^\circ$  (Bestrahlung der Phantomvorderseite) und unter  $180^\circ$  (Bestrahlung der Phantomrückseite) dargestellt, wenn das unabgedeckte Glas an der Phantomvorderseite bestrahlt und danach differentiell in der Glastiefe von 0,3 mm ausgemessen wird (Spaltbreite 0,3 mm). Bei Bestrahlung der Phantomvorderseite zeigt das Glas eine Oberempfindlichkeit bis zu einem Faktor 7, bei Bestrahlung der Phantomrückseite eine relativ geringe Unterbewertung der Freiluftdosis bis zu einem Faktor 2.

Wird das Glas an der Phantomvorderseite unter verschiedenen Richtungen bestrahlt, dann erhält man bei Abtastung des Glases in Richtung  $0^\circ$  für den differentiellen Meßwert in Glas-



tiefe 0,3 mm die in Abbildung 24 wiedergegebene Dosimeteranzeige in Abhängigkeit von der Strahleneinfallrichtung. Für Quantenstrahlung oberhalb 50 keV ist demnach - abgesehen von den Unterschieden zwischen Vorder- und Rückwärts-einstrahlung - keine ausgesprochene Richtungsabhängigkeit vorhanden.

Die hier beschriebenen Untersuchungen sollen mit einem zylindrischen

Phosphatglas fortgesetzt werden. Für dieses Glas wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. Physikalisch-Technische Werkstätten, Freiburg, eine entsprechende Vorrichtung zur automatischen Abtastung des Glases gebaut, die Ende 1970 fertiggestellt wurde (Abb. 25).

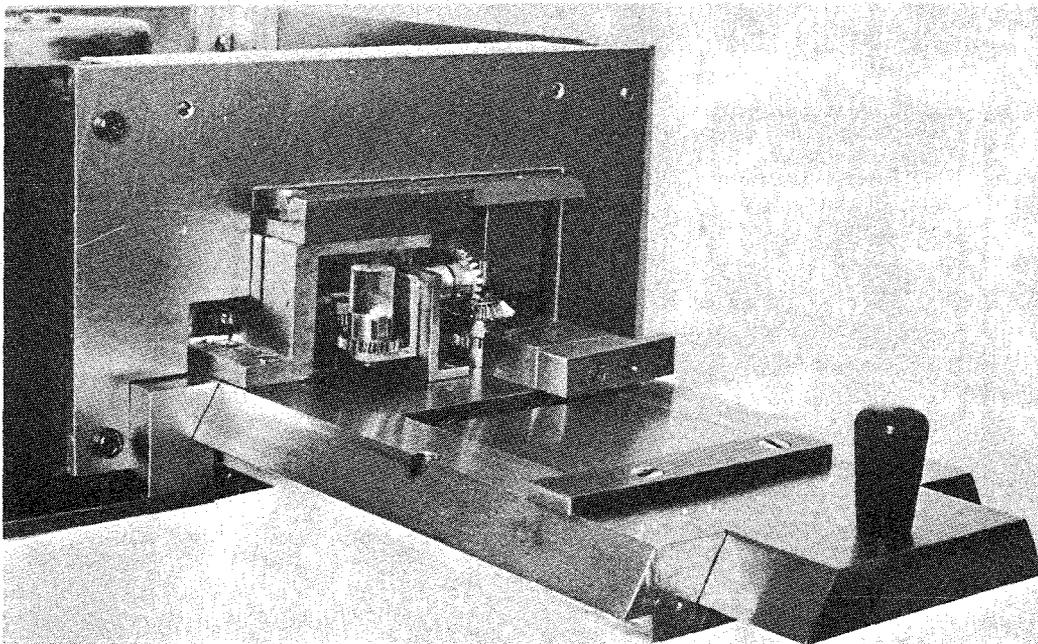


Abb. 25: Gerät zur automatischen diff. Abtastung eines zylindrischen Phosphatglases

Der Schieber in der optischen Kammer des Toshiba-Auswertegerätes wurde so umgebaut, daß das Glas während der differentiellen Auswertung durch Steuerung von außen in drei verschiedene Richtungen gedreht und abgetastet wird:

- Drehen des Glases um die Zylinderachse zum Aufsuchen der Richtung des Strahleneinfalles
- radiale Abtastung des Glases in Strahleneinfallsrichtung
- Kippen des Glases und axiale Abtastung des Glases.

#### 4.2.1.2 Methoden einer Personendosimetrie mit Phosphatgläsern

Für eine Personendosimetrie mit Phosphatgläsern wurden in den letzten Jahren verschiedene Dosimeterkonzepte vorgeschlagen und entsprechende Dosimetersysteme entwickelt und experimentell untersucht. In Abbildung 26 sind die charakteristischen Eigenschaften dieser Methoden gegenübergestellt.

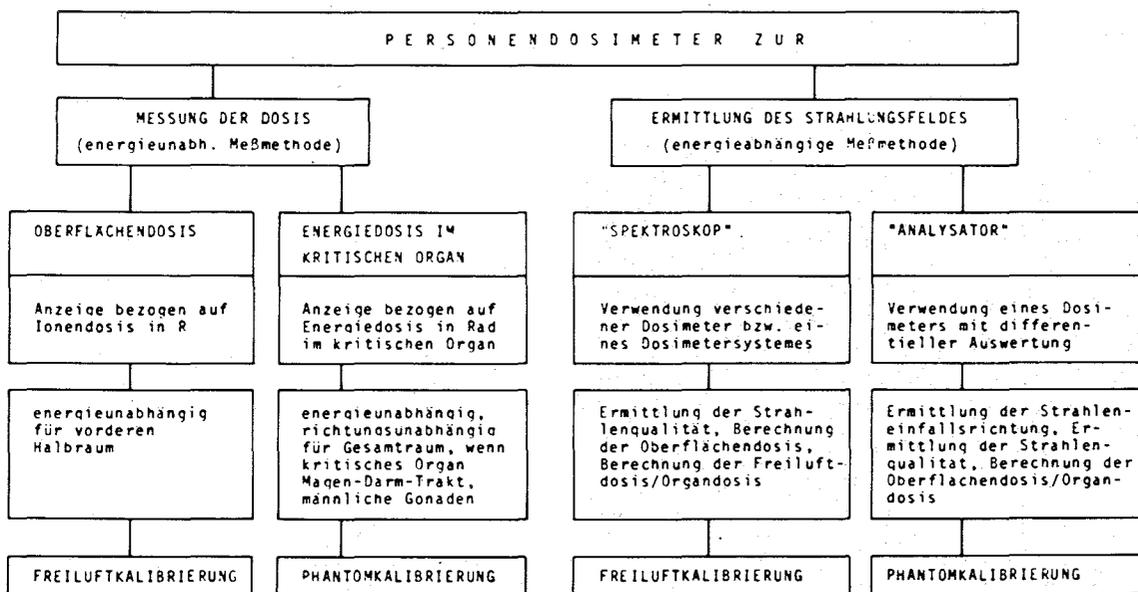


Abb. 26: Schematische Darstellung der Meßverfahren in der Personendosimetrie

Zur Messung der Dosis benutzt man bevorzugt energieunabhängige Dosimeter, die aus einem Glas und einem Energiekompensationsfilter bestehen. Damit kann nach dem derzeitigen Konzept der Personendosimetrie die Oberflächendosis am Ort des Dosimeters gemessen oder nach dem neuen Konzept einer Organdosismessung die Energiedosis in den interessierenden kritischen Organen direkt mit einem Personendosimeter an der Körpervorderseite angezeigt werden.

Energieabhängige Meßmethoden bieten den Vorteil, beim Vorliegen einer Einzelbestrahlung Aussagen über das Strahlungsfeld zu liefern. Dafür muß auf die gewohnte Meßgenauigkeit bei der Dosisbestimmung verzichtet werden. In Anlehnung an die filteranalytische Methode der Filmdosimetrie müßte eine Dosimeterkombination, die aus mehreren Gläsern und unterschiedlichen Filtern besteht, als "Spektroskop", ein Einfachglas mit differentieller Auswertung als "Analysator" bezeichnet werden.

Die besten Nachweisverhältnisse bietet eine Kombination verschiedener Meßmethoden:

- energieunabhängige Dosismessung wegen der optimalen Meßgenauigkeit
- differentielle Abtastung wegen der Analyse des Strahlungsfeldes beim Vorliegen einer Einzelbestrahlung sowie wegen einer Unterscheidung zwischen Vorder- und Rückwärtseinstrahlung am Körper
- Organdosismessung wegen der weitgehenden Herabsetzung des Körpereinflusses bei Rückwärtseinstrahlung.

#### 4.2.2 Aenderung der Dosisempfindlichkeit bei LiF-Dosimetern

B. Burgkhardt

Der Einsatz von gesinterten LiF-Dosimetern in der Routine-dosimetrie, besonders aber die Bestimmung kleiner Dosiswerte

bei der Messung der natürlichen Umgebungsstrahlung macht es erforderlich, für Chargen von einigen hundert Dosimetern den Sondenfaktor des Einzeldosimeters zu bestimmen und bei einer Wiederverwendung der Dosimeter die durch Einflüsse des Regenerierens verursachte Änderung des Sondenfaktors zu ermitteln. Während bei neuen Dosimetern durch eine Kalibrierbestrahlung der gesamten Charge der Sondenfaktor für jedes Einzeldosimeter ermittelt werden kann, muß man sich bei einer späteren, mehrmaligen Wiederverwendung der Charge auf eine Kalibrierung einer geringen Teilmenge beschränken. Aus diesem Grunde interessiert die maximale Streuung des Sondenfaktors nach mehrmaliger Regenerierung der Charge.

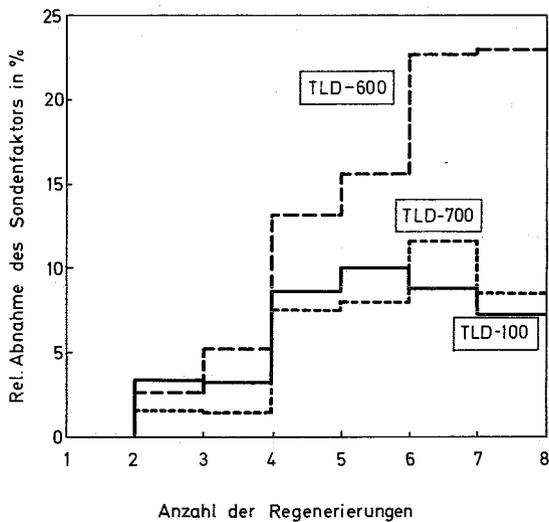


Abb. 27 Abnahme des Sondenfaktors von LiF-Dosimetern

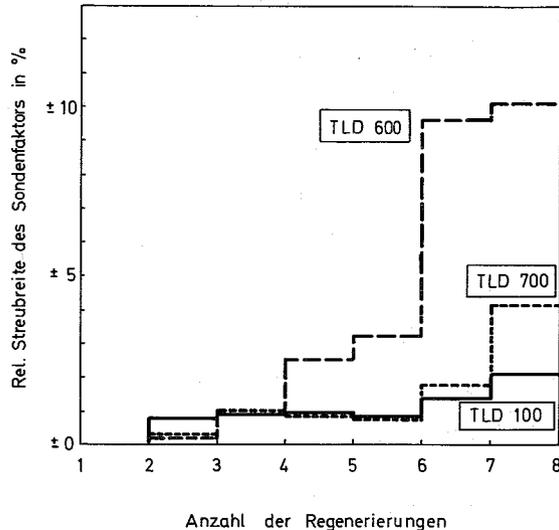


Abb. 28 Streubreite des LiF-Sondenfaktors

Es wurden daher umfangreiche Meßreihen mit Chargen bis zu 15 Dosimetern durchgeführt, um den Einfluß des Regeneriervorganges und die Bedingungen einer Chargen-Kalibrierung zu untersuchen. Die Untersuchungen wurden mit TLD-100, TLD-600 und TLD-700 durchgeführt. Die Abbildungen 27 und 28 geben Teilergebnisse dieser Meßreihen wieder, und zwar die jeweils

bei einer Charge von 5 Dosimetern experimentell gefundene Abnahme der Chargenempfindlichkeit (arithmetischer Mittelwert der Sondenfaktoren) sowie die maximale Streuung des Sondenfaktors von jeweils 5 Dosimetern bei wiederholter Regenerierung und Bestrahlung auf 1,5 R, wobei jeweils auf den Sondenfaktor des erstmalig bestrahlten Dosimeters bezogen wurde. Vor der Messung erfolgte eine 10minütige Erwärmung auf 100° C; die Regenerierung erfolgte bei 400° C (eine Stunde), anschließend bei 100° C (zwei Stunden). TLD-600 zeigt ein im Vergleich zu TLD-100 und TLD-700 deutlich unterschiedliches Verhalten, und zwar nimmt der Sondenfaktor um 3 bis 4 % pro Regenerierung ab, verglichen mit etwa 1,5 % bei den beiden anderen Materialien.

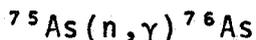
Neue Dosimeter zeigen eine Streuung des Sondenfaktors um etwa ± 5 %. Aber auch nach individueller Kalibrierung der Charge nimmt die maximale innerhalb der Charge festgestellte Streuung mit der Anzahl der Regenerierungen zu.

Diese Untersuchungen wurden auch mit abgewandelten Regenerierungsverfahren durchgeführt. Das Ziel war, ein nicht zu aufwendiges Verfahren zu finden, das die Dosisempfindlichkeit der Dosimeter nach mehrmaligem Regenerieren nicht ändert.

#### 4.2.3 Neutronenaktivierungsdosimeter

E. Piesch

- Wirkungsquerschnitt der Neutroneneinfangreaktion



Im Vordergrund der Arbeiten stand die Entwicklung eines neuen Aktivierungsdosimeters für mittelschnelle und langsame Neutronen, welches anstelle bisher verwendeter Resonanzdetektoren (Au, Cu, Na, In) eingesetzt werden soll.

Da bei einem Neutronenunfall das Neutronenspektrum im Bereich mittelschneller Neutronen keinen  $1/v$ -Verlauf aufweist, sind hierfür Kernreaktionen wünschenswert, deren Wirkungsquerschnitt sowohl im Bereich oberhalb 10 keV als auch im eV-Bereich keine Resonanzstellen aufweist.

Als geeignet erwies sich die Kernreaktion  $^{75}\text{As}(n,\gamma)^{76}\text{As}$ , deren Aktivierungsprodukt  $^{76}\text{As}(E_{\beta,\text{max}}: 3 \text{ MeV})$  mit einer Halbwertszeit von 26 h zerfällt.

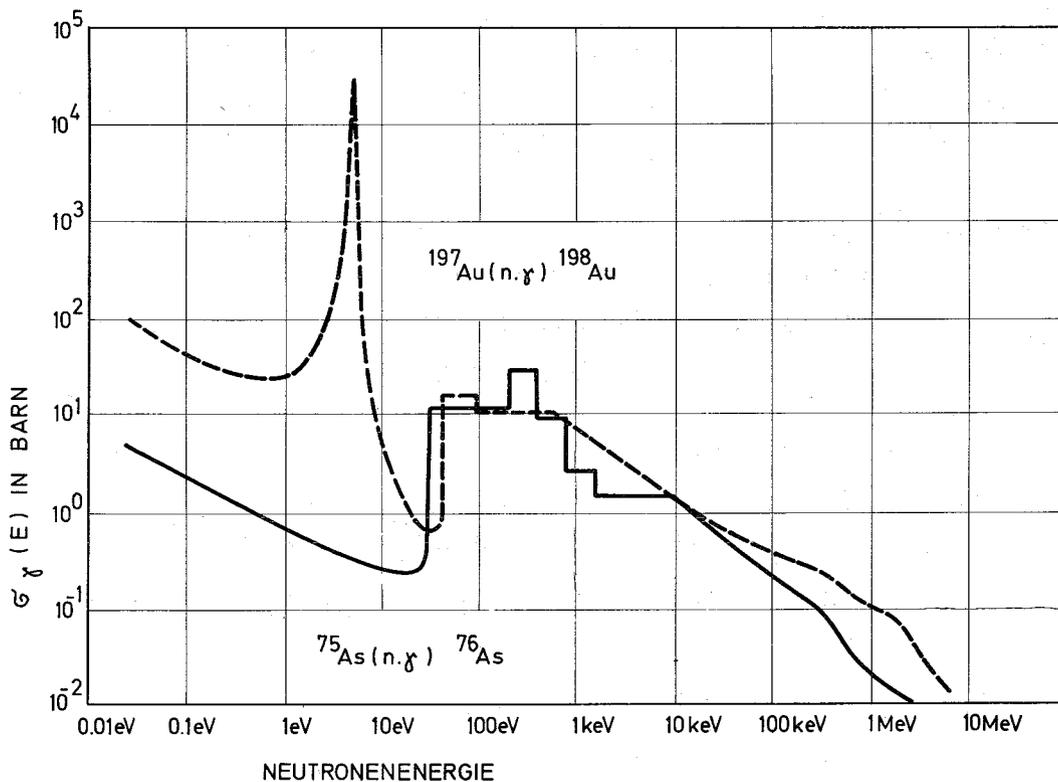


Abb. 29 Wirkungsquerschnitt von As und Au

Der Wirkungsquerschnitt dieser Reaktion wurde im Energiebereich unterhalb 10 keV unter Zugrundelegung der Breit-Wigner-Formel und eines  $1/v$ -Verlaufes unterhalb 40 eV in Zusammenarbeit mit ASS/TM berechnet. Die Resonanzstellen im Bereich 1 - 40 keV liegen dicht nebeneinander und führen zu einem mit der Neutronenenergie wenig veränderlichen effektiven Wirkungsquerschnitt. Im Bereich oberhalb 40 eV erreicht der Wirkungsquerschnitt von Arsen denselben Wert wie der von Gold, unter 40 eV ist im Gegensatz zu Gold keine Resonanzstelle vorhanden (Abb. 29).

Ein Vergleich mit der Kernreaktion  $^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$  zeigt einen um den Faktor 1 000 größeren Wirkungsquerschnitt und keine Resonanzstellen im Bereich oberhalb 10 keV.

- Kalibrierung von Arsen-Aktivierungsdetektoren

Als Aktivierungsdetektor wurden ein  $\text{As}_2\text{S}_3$ -Glas der Größe 10 mm  $\varnothing$  • 1 mm und ein Arsen-Phosphatglas der Größe 8 • 8 • 4,7 mm<sup>3</sup> mit einem As-Gehalt von 0,2 % benutzt. Die Kalibrierung erfolgte mit verschiedenen Neutronen-Leakage-Spektren innerhalb der Unfalldosimetrie-Vergleichsbestrahlungen in Valduc und Oak Ridge (vergl. 4.2.6). Bei der Messung der Neutronenfluenz mittelschneller und thermischer Neutronen wurde zwischen Aktivierungsdetektoren aus Gold und Arsen Übereinstimmung innerhalb  $\pm 5$  % erzielt. Abweichungen von + 20 % wurden für das Leakage-Spektrum des HPRR hinter 12 cm Stahlabschirmung festgestellt.

Bei einer Messung des im transparenten Glas durch  $\beta$ -Strahlung erzeugten Cerenkov-Lichtes in einem Flüssigszintillationsmeßgerät wurden für eine Neutronenfluenz von  $10^{10}$  n/cm<sup>2</sup> unmittelbar nach einer Kurzzeitaktivierung folgende Werte erhalten:

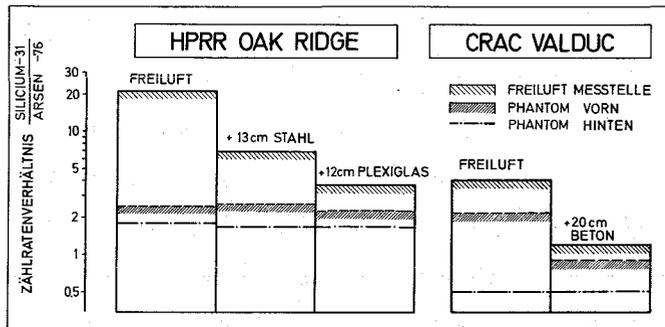
$\text{As}_2\text{S}_3$ -Glas	9 600 Imp/min
As-Phosphatglas	288 Imp/min

- Aussage über Neutronenspektrum

Das Arsen-Phosphatglas ermöglicht aufgrund der unterschiedlichen Halbwertszeit von  $^{76}\text{As}$  (26 h) und  $^{31}\text{Si}$  (2,6 h)

eine getrennte Bestimmung beider Aktivierungsanteile, wenn nach der Aktivierung zwei Messungen (z. B. 6 h und 24 h nach der Aktivierung) durchgeführt werden.

Abb. 30 Zählratenverhältnis  $^{31}\text{Si}$  zu  $^{76}\text{As}$  für verschiedene Spektren



Das experimentell ermittelte Zählratenverhältnis  $^{31}\text{Si}/^{76}\text{As}$  läßt bei Freiluftbestrahlung Rückschlüsse auf die Art der Moderierung bzw. Abschirmung zu und kann zur Korrektur der gemessenen Dosis herangezogen werden.

Abb. 30 zeigt die mit demselben Arsen-Phosphatglas am HPRR in Oak Ridge und an der Kritikalitätsanlage in Valduc ermittelten Zählratenverhältnisse.

- Direktanzeige der totalen Neutronenfluenz bzw. Neutronendosis

Das Arsen-Phosphatglas ermöglicht mittels einer einmaligen Messung die Direktanzeige der Neutronenfluenz ( $\Phi = \Phi_{th} + \Phi_{epi} + \Phi_{>2,5 \text{ MeV}}$ ) bis auf  $\pm 15\%$  unabhängig

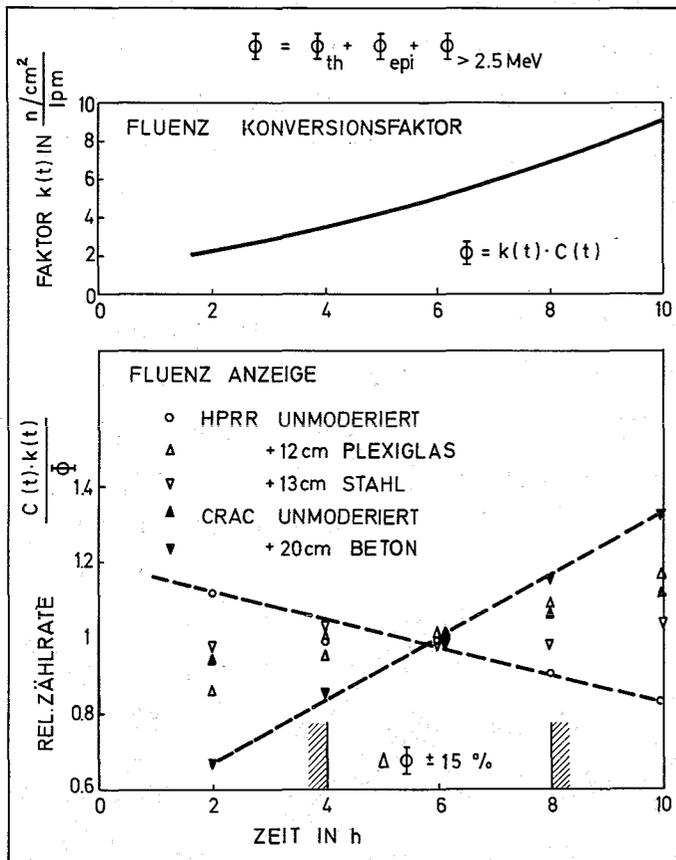


Abb. 31 Totale Fluenzanzeige mit As-Phosphatglas

vom Neutronenspektrum, wenn das Glas im Zeitraum 4 - 8 h nach einer Aktivierung ausgemessen wird (Abb. 31). Auf dieselbe Weise wird mit einem Arsen-Phosphatglas, dessen Arsengehalt auf 1/4 reduziert ist, die totale Neutronendosis angezeigt.

Bei Kalibrierung des Arsen-Phosphatglases auf ein unmoderiertes Spaltspektrum wird auch der Dosis-

anteil im Energiebereich 0,75 - 2,5 MeV erfaßt. Der Einfluß des jeweiligen Neutronenspektrums auf den Betrag dieses Dosisanteiles kann durch einen Energiekonversionsfaktor berücksichtigt werden. Aussagen über den Verlauf des Neutronenspektrums basieren auf einer zweimaligen Ausmessung des Glases und dem daraus ermittelten Zählratenverhältnis  $^{31}\text{Si}/^{76}\text{As}$ .

#### 4.2.4 Festkörperkernspurendetektor

E. Piesch

##### 4.2.4.1 Auszählung von Rückstosskernen und $\alpha$ -Teilchen in Makrofol E

In Fortsetzung unserer Arbeiten auf dem Gebiet der Festkörperspurendetektoren wurde vor allem der direkte Nachweis

von Neutronen über Rückstoßkerne und  $\alpha$ -Teilchen in Makrofol E untersucht. Zur mikroskopischen Auszählung der Ätzgruben wurde das abgewandelte Interferenz-Kontrastverfahren zugrunde gelegt, welches u. a. eine reliefartige Wiedergabe der Ätzgruben und unterschiedliche Interferenzfarben in den Ätzgruben und im Bilduntergrund liefert (17).

Ätzgruben von Kohlenstoff-Rückstoßkernen und  $\alpha$ -Teilchen zeigen unterschiedlich große Ätzgruben von 2 - 7  $\mu\text{m}$   $\emptyset$ , die bei Bestrahlung mit 14 MeV Neutronen deutlich größer sind als bei Bestrahlung mit Spaltneutronen (Abb. 32 u. 33). Durch die längere Ätzdauer von 4 h ist der Bilduntergrund poröser.

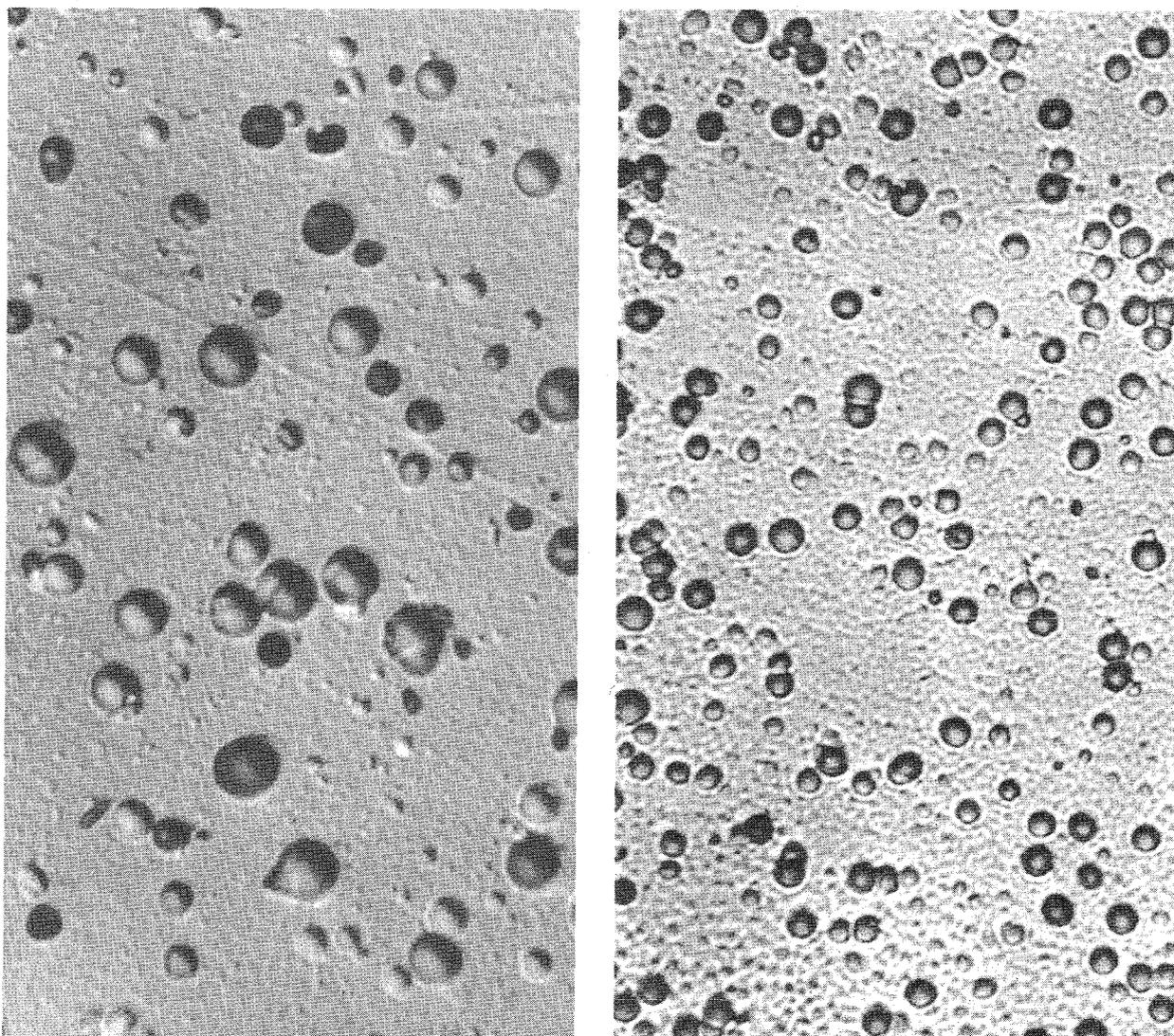


Abb. 32 u. 33: Ätzgruben von Rückstoßkernen in Makrofol; Bestrahlung mit 14 MeV-Neutronen (l.) und Spaltneutronen (r.)

Die Auszählung wird vor allem bei höheren Spurendichten nur dann ausreichend reproduzierbar, wenn das Gesichtsfeld unterteilt bzw. das fotografische Bild ausgezählt wird.

Unsere Untersuchungen galten u. a. einer automatischen Auszählung der Ätzgruben von Rückstoßkernen und  $\alpha$ -Teilchen in Makrofol E mittels einer gesteuerten elektrischen Entladung (Jumping-Spark-Methode). Diese Untersuchungen führten zu keinem positivem Ergebnis, da mit den erhältlichen Makrofolfolien von 12  $\mu\text{m}$  Dicke schon im unbestrahlten Zustand nach dem Ätzen ein sehr hoher Spurenuntergrund auftritt und die Reproduzierbarkeit der Auszählung für eine Neutronenflussmessung unzureichend ist.

Eine automatische Auszählung von Ätzgruben scheint jedoch mit modernen elektronischen Zählmethoden aussichtsreich zu sein. Voruntersuchungen mit verschiedenen Geräten (Quantimat, Integramat, Mikrovideomat) ergaben, daß zur automatischen Auszählung unterschiedlich großer Ätzgruben bei gleichzeitigem Auftreten eines relativ starken Untergrundes die Fernsehübertragung in Verbindung mit dem Interferenz-Kontrastverfahren wertvolle Möglichkeiten zur Verbesserung des Bildkontrastes und zur Diskriminierung des Bilduntergrundes bietet.

#### 4.2.4.2 Neutronennachweis in Makrofol E

Zum Nachweis neutroneninduzierter Rückstoßkerne und  $\alpha$ -Teilchen in Makrofol E wird die 300  $\mu\text{m}$  dicke Folie 4 Stunden in einer 32 %igen wässrigen KOH-Lösung bei 60° C geätzt (s. Abb. 34).

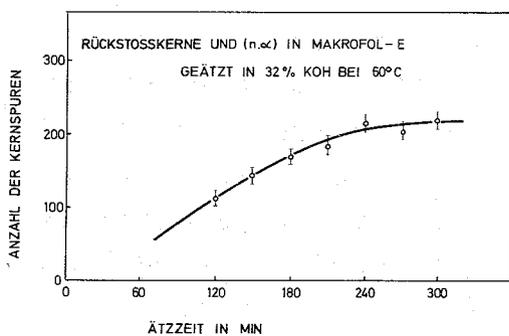


Abb. 34 Anzahl der Kernspuren in Abhängigkeit von der Ätzeit

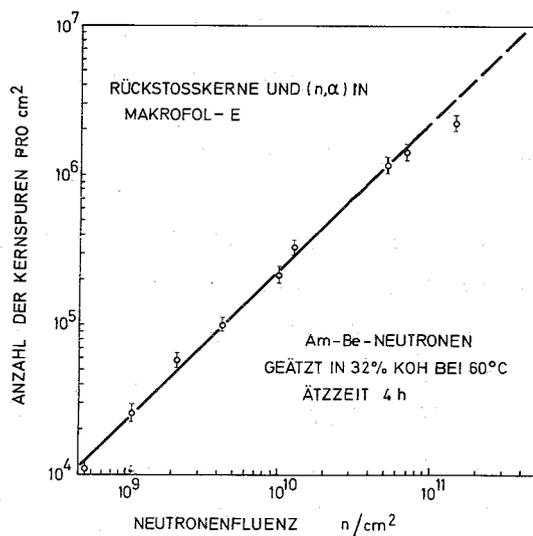


Abb. 35 Nachweis von Neutronen über Rückstoßkerne

Eine mikroskopische Auszählung der Ätzgruben mit dem Interferenz-Kontrastverfahren ergab für Am-Be-Neutronen eine Empfindlichkeit von  $2 \cdot 10^{-5}$  Spuren/Neutron. Hierbei wurden kleine Ätzgruben mitgezählt. Bei einer mikroskopischen Auszählung werden schnelle Neutronen über einen Bereich von etwa 4 Dekaden nachgewiesen. Der nachweisbare Dosisbereich beträgt 1 rad bis einige 100 rad (s. Abb. 35). Bei gleichzeitiger Ätzung und Auszählung einer Foliencharge wurde für Relativmessungen eine Reproduzierbarkeit von  $\pm 10\%$  erhalten.

Der Nachweis von Neutronen über Rückstoßkerne und  $\alpha$ -Teilchen in Makrofol E ist in ausgeprägter Weise von der Strahleneinflussrichtung abhängig. Für Am-Be-Neutronen wurden im ungünstigsten Fall, nämlich bei Einstrahlung parallel zur Folienfläche, nur 40 % der maximal nachweisbaren Spuren gezählt (Abb. 36).

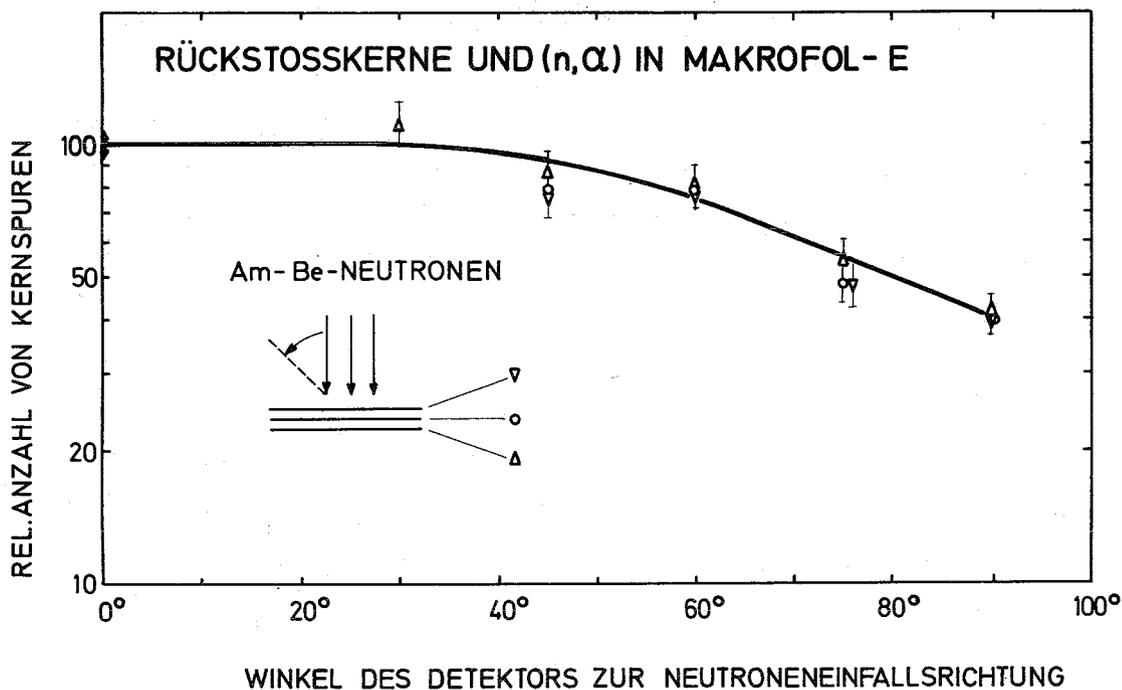


Abb. 36 Richtungsabhängigkeit

Makrofol E ist unempfindlich gegenüber Einflüssen der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur. Auch bei Temperaturen von  $100^{\circ}\text{C}$  und einer relativen Luftfeuchte von 100 % wurde nur ein relativ kleines Fading festgestellt. Vergleichsbestrahlungen mit Spaltneutronen zeigten, daß die untere Energieschwelle für einen direkten Neutronennachweis über Rückstoßkerne und  $\alpha$ -Teilchen in Makrofol E zwischen 0,75 MeV (Schwelle von  $^{237}\text{Np}(n,f)$ ) und zwischen 1,3 MeV (Schwelle für  $^{232}\text{Th}(n,f)$ ) liegt (22).

#### 4.2.5 Verbesserungen in der Neutronen-Unfalldosimetrie

E. Piesch

Zur Feststellung der Personen- oder Ortsdosis nach einem Kritischwerden von spaltbarem Material ist es erforderlich, über die jeweiligen Bestrahlungsverhältnisse folgende Abschätzungen zu machen:

- Energieverteilung der Neutronen am jeweiligen Ort u. U. hinter einer zusätzlichen Abschirmung
- Orientierung der Person bzw. des Dosimeters zur Strahlenquelle.

Ist ein Dosimeter auf ein unmoderiertes Spaltspektrum kalibriert, dann werden wegen der ungünstigen Nachweisverhältnisse im Energiebereich unterhalb 2,5 MeV bzw. 0,75 MeV je nach Art, Aufbau und Moderierung der jeweiligen kritischen Anordnung und aufgrund zusätzlicher Abschirmungen im ungünstigsten Fall auch bei Freiluftbestrahlung nur 2/5 der Neutronendosis angezeigt.

Bleibt die Körperorientierung unbekannt, dann wird ein Personendosimeter im ungünstigsten Fall, nämlich bei Bestrahlung der Körperrückseite, nur etwa 1/10 der Neutronendosis und nur etwa 2/5 der  $\gamma$ -Dosis anzeigen.

Unsere Arbeiten auf dem Gebiet der Kritikalitätsdosimetrie führten mit dem Arsen-Phosphatglas zu einer Methode, das Neutronenspektrum aus dem  $^{31}\text{Si}/^{76}\text{As}$ -Verhältnis bei Freiluftbestrahlung abzuschätzen (s. Abschnitt 4.2.3). Damit kann mit einfachen Dosimetersystemen der fehlende Neutronennachweis im Energiebereich zwischen 0,1 MeV und 2,5 MeV, 1 MeV bzw. 0,75 MeV korrigiert werden.

Das Phosphatglas- $\gamma$ -Dosimeter erfüllt im Hinblick auf Empfindlichkeit und getrennten Neutronennachweis von langsamen und schnellen Neutronen Mindestanforderungen, die an

ein Neutronenunfalldosimeter gestellt werden. Zur Verbesserung der Nachweisverhältnisse sind Verbesserungen mit folgenden Dosimetersystemen möglich:

- |                                   |                  |
|-----------------------------------|------------------|
| - Phosphatglasdosimeter           | $E_n > 2,5$ MeV  |
| - Arsen-Phosphatglas              | $E_n > 2,5$ MeV  |
| - Arsen-Phosphatglas + Makrofol E | $E_n > 1$ MeV    |
| - Arsen-Phosphatglas + Neptunium  | $E_n > 0,75$ MeV |

Diese Dosimeter können als Personen- und Ortsdosimeter eingesetzt werden.

Zur Ermittlung der Strahleneinfallrichtung bzw. der Körperorientierung während eines Unfalles kann ein Gürtel aus einer Makrofolfolie verwendet werden, aus dem nachträglich Meß-Folien herausgestanzt werden. In Abbildung 37 sind Messungen dieser Art für eine frontale Bestrahlung des Phantoms am HPRR (Oak Ridge) wiedergegeben. Die Meßergebnisse bei Bestrahlung des Phantoms unter verschiedenen Strahleneinfallrichtungen zeigen, daß Arme und andere Gegenstände die Dosisanzeige infolge Abschirmung und Rückstreuung beeinträchtigen können (Abb. 38). Die Ermittlung der Körperorientierung ist daher bei Tragen von nur 4 oder 6 Dosimetern sehr ungenau, mit dem vorgeschlagenen Dosimetergürtel jedoch realisierbar.

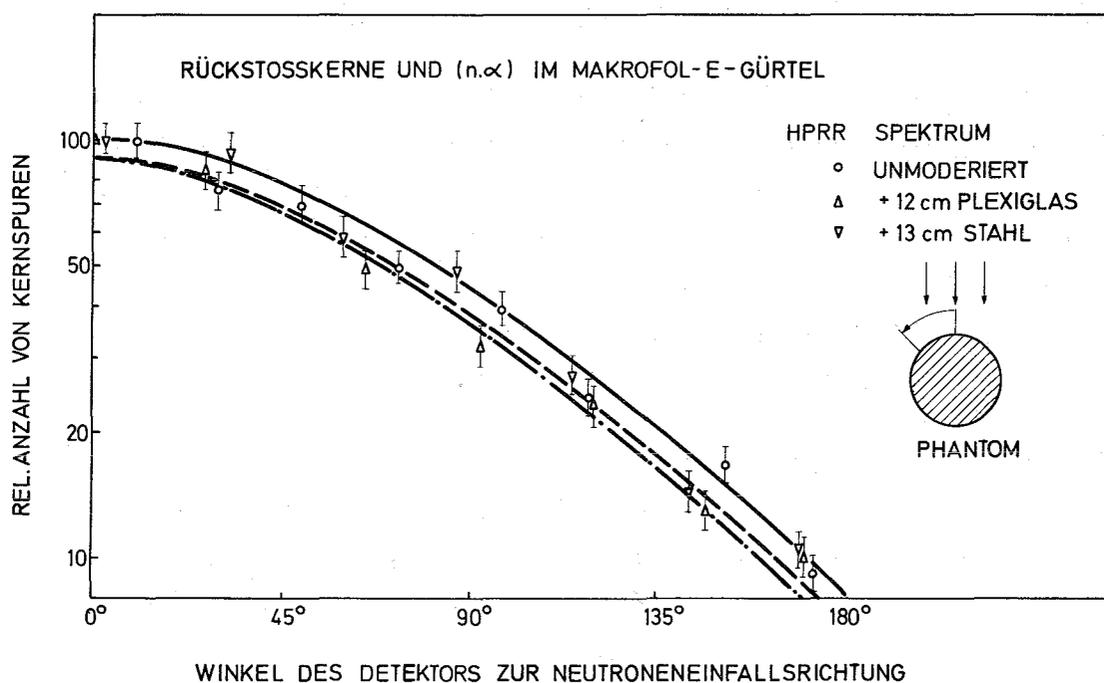


Abb. 37 Richtungsabhängigkeit

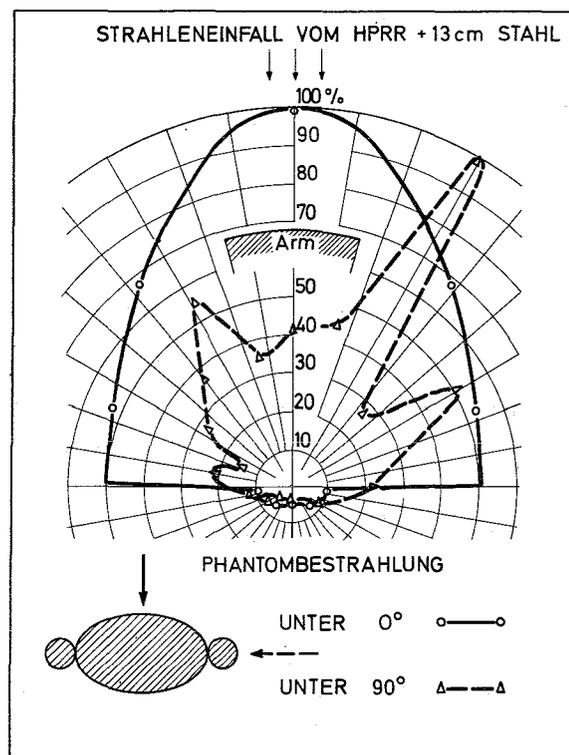


Abb. 38 Richtungsabhängigkeit

#### 4.2.6 Dosimeter-Vergleichsmessungen

E. Piesch

Im Jahre 1970 beteiligte sich die Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit u. a. an folgenden internationalen Dosimetervergleichsmessungen

- IAEA Intercomparison Experiment and Research Co-ordination on Nuclear Accidental Dosimetry, June 15 - 26, 1970, CEN Valduc and CEA Paris
- Seventh Nuclear Accidental Dosimetry Intercomparison Study, July 20 - 31, 1970, ORNL Dosar, Oak Ridge
- IAEA International Glass Dosimetry Comparison Experiment, 1970
- Euratom Neutronen-Dosimeter-Vergleich 1970

Besondere Bedeutung kommen den Vergleichsbestrahlungen am Health Physics Research Reactor (HPRR) in Oak Ridge und an der kritischen Anordnung (Uranynitrat-Lösung) in Valduc zu (siehe hierzu (21, 22)).

### 4.3 Messung von Einzelnucliden

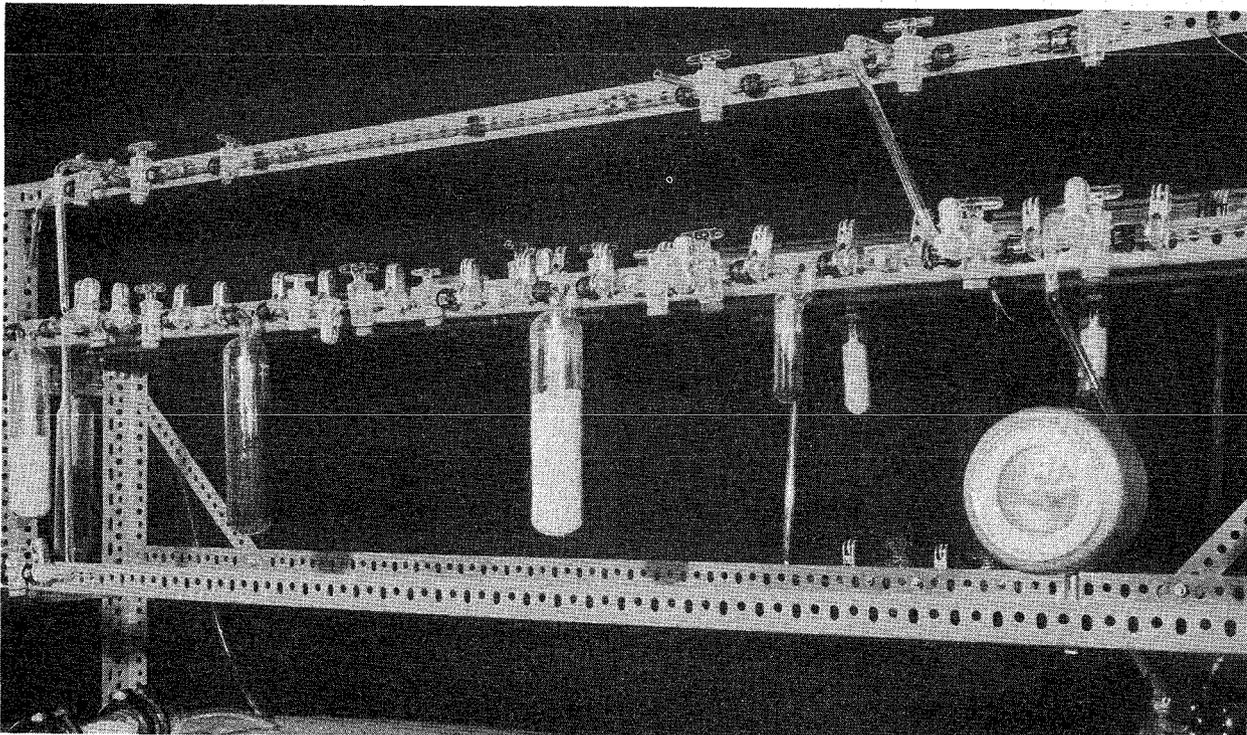
#### 4.3.1 Diskontinuierliche Messung von $^{85}\text{Kr}$

H. Fessler

Im Zusammenhang mit der im Jahre 1971 vorgesehenen Inbetriebnahme der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe war die Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung einer  $^{85}\text{Kr}$ -Konzentration in Luft unterhalb von  $10^{-8}$  bis  $10^{-9}$   $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$  notwendig.

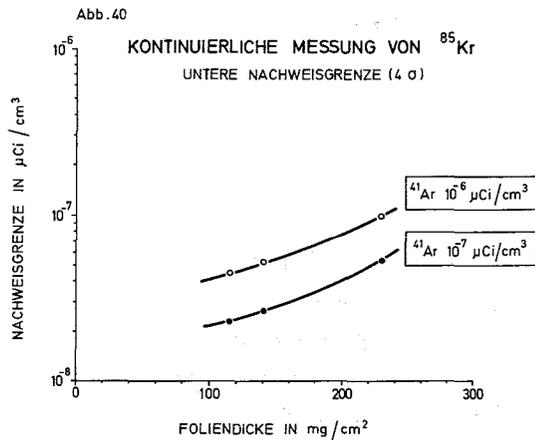
Zur Anreicherung von Krypton wurde die Adsorption an Aktivkohle bei 77 K ausgenutzt. Dazu wird  $1 \text{ m}^3$  Luft nach Trocknung und Ausfrieren von  $\text{CO}_2$  durch Aktivkohle geleitet. Die weitere Reinigung der Probe von Radon,  $\text{O}_2$  und  $\text{N}_2$  wird zuerst mit ungekühlter Aktivkohle, danach mit gekühlter Aktivkohle wie oben durchgeführt. Nach mehrmaliger Wiederholung wird die gereinigte Gasprobe in ein Gasfüllzählrohr abgefüllt. Nach Füllen des Zählrohrs mit  $\text{CH}_4$  wird die  $^{85}\text{Kr}$ -Aktivität gemessen. Abbildung 39 zeigt die benutzte Apparatur. Testversuche mit  $^{85\text{m}}\text{Kr}$  ergaben für das beschriebene Verfahren Ausbeuten von 75 - 80 %. Bei Nullpegelmessungen wurden in der Außenluft  $^{85}\text{Kr}$ -Aktivitäten zwischen 9 und 16  $\text{pCi}/\text{m}^3$  gemessen.

Abb. 39: Diskont.  $^{85}\text{Kr}$ -Messung



### 4.3.2 Kontinuierliche Messung von $^{85}\text{Kr}$

H. Fessler



In (6) wurde eine Anlage zur Direktmessung des  $^{85}\text{Kr}$ -Gehaltes von Luft oberhalb einiger  $10^{-8} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$  bei Anwesenheit von  $^{41}\text{Ar}$  beschrieben. Im Laufe des Jahres 1970 wurde diese Anlage aufgebaut und mit  $^{32}\text{P}$ - und  $^{204}\text{Tl}$ -Punktstrahlern erprobt. Man mußte dazu eine gleichmäßige räumliche

Verteilung der radioaktiven Substanzen simulieren. Das konnte durch Verschieben dieser Punktstrahler im Meßvolumen und durch anschließende Mittelwertbildung aus den Meßergebnissen erreicht werden. Abbildung 40 zeigt den Verlauf der aus diesen Meßergebnissen errechneten Nachweisgrenze für  $^{85}\text{Kr}$  bei einer angenommenen  $^{41}\text{Ar}$ -Konzentration von  $10^{-7} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$  und  $10^{-6} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ .

### 4.3.3 Messmethoden für $^{131}\text{J}$

H. Fessler

Die Arbeiten zur Messung von  $^{131}\text{J}$  verfolgen hauptsächlich zwei Ziele:

- Entwicklung eines Verfahrens zur Messung möglichst niedriger  $^{131}\text{J}$ -Konzentrationen in der Umgebungsluft
- Ermittlung des günstigsten Verfahrens zur Diskriminierung von  $^{131}\text{J}$  gegenüber anderen flüchtigen Spaltprodukten, insbesondere anderen Jodisotopen und deren Folgeprodukten.

Hierzu wurden zwei  $\text{NaJ(Tl)}$ -Szintillationszähler verwendet, deren Anordnung bei genügend dünner Probe annähernd  $4\pi$ -Geometrie ergab. Es wurden im Laufe des Jahres 1970 folgende Meßmethoden erprobt:

- 1 : (NaJ) Szintillationsdetektor
- 2 : Vorverstärker
- 3 : Additionsverstärker
- 4 : Linearverst. mit Imp.-formung
- 5 : Vielkanalanalysator
- 6 : Präparat

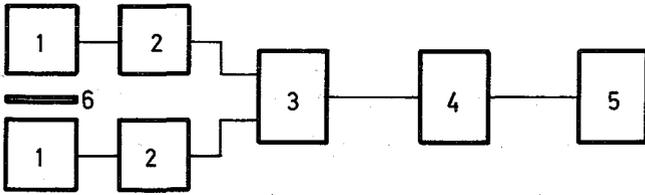


Abb. 41 4 π- ANORDNUNG

- 1 : NaJ(Tl) Szintillationsdetektor
- 2 : Vorverstärker
- 3 : Additionsverstärker
- 4 : Verst. m. Impulsformung und Verzögerung
- 5 : Lineares Gate
- 6 : Zweifach differenzierender Verst.
- 7 : Zeitbestimmender Integralkriminator (0-Durchgangstrigger)
- 8 : Schnelle Koinzidenzstufe
- 9 : Vielkanalanalysator
- 10 : Präparat

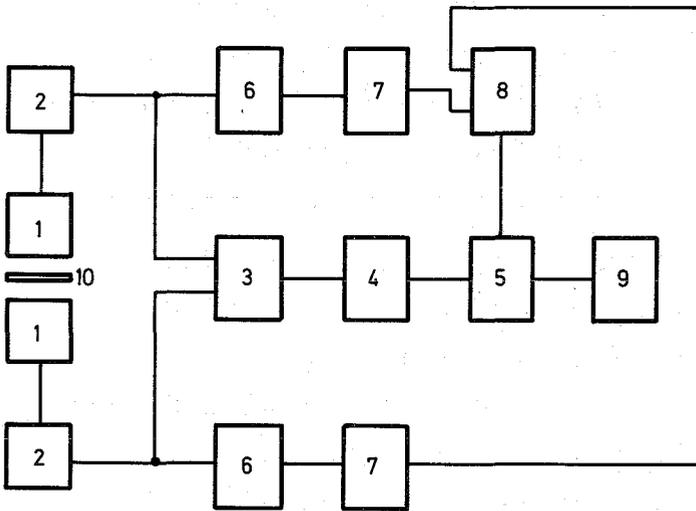
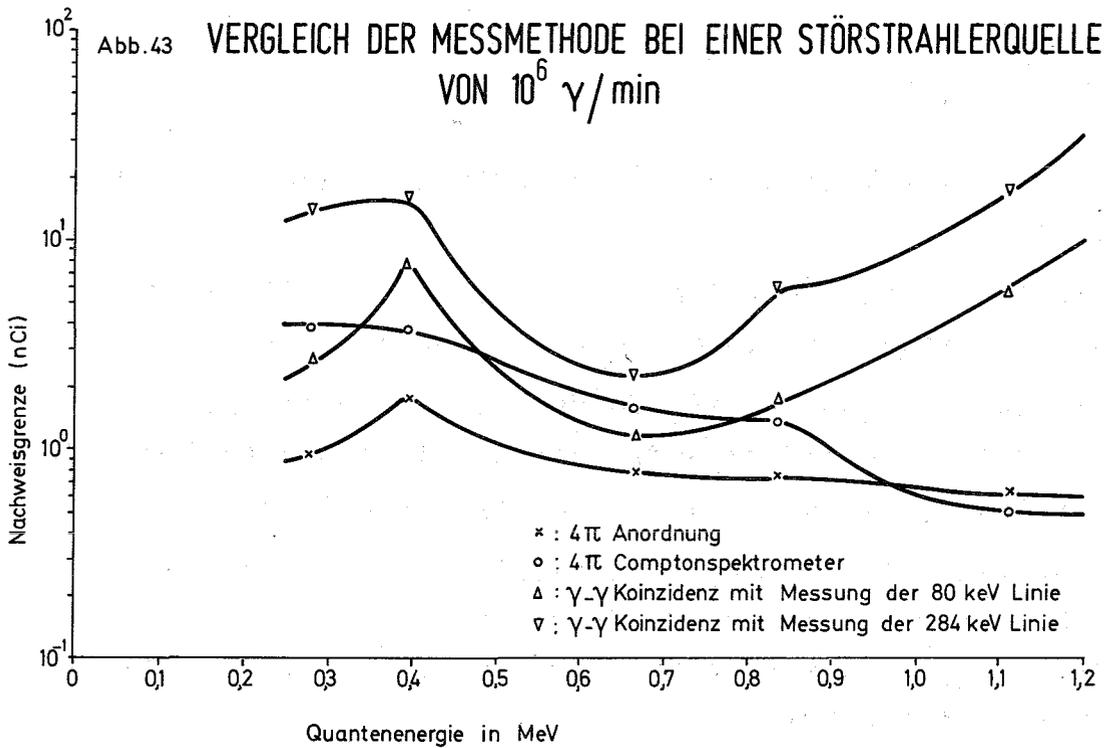


Abb. 42 4 π- COMPTONSPEKTROMETER



- Eine an sich konventionelle spektroskopische Meßmethode mit Impulsamplituden-Addition gleichzeitiger Impulse ("4 $\pi$ -Anordnung") (Abb. 41). Dadurch erzielt man einen sehr hohen Wirkungsgrad und zusätzlich eine Reduktion des Compton-Kontinuums vor allem in der Gegend der Compton-Kante.
- Bei dieser Methode sind beide Detektoren in Koinzidenz geschaltet (siehe Abb. 42). Die Addition der Impulsamplituden erfolgt wie vorstehend beschrieben. Da eine Registrierung nur dann erfolgt, wenn die Koinzidenzstufe anspricht, erreicht man ein weitgehendes Verschwinden des Comptonuntergrundes (4 $\pi$ -Comptonspektrometer).
- $\gamma$ - $\gamma$ -Koinzidenz des 284 keV- und 80 keV-Überganges. Dies ist eine relativ unempfindliche Methode.

Die 4 $\pi$ -Anordnung erwies sich für die Messung niedrigster  $^{131}\text{J}$ -Konzentrationen als optimalste der 3 Methoden. Anlässlich von Messungen des  $^{131}\text{J}$ -Fallouts des chinesischen Kernwaffenversuchs vom 14.10.1970 konnte hinter einer Abschirmung von 5 cm Blei eine Nachweisgrenze von 1 pCi bei einer 1 000 Minuten-Messung erreicht werden.

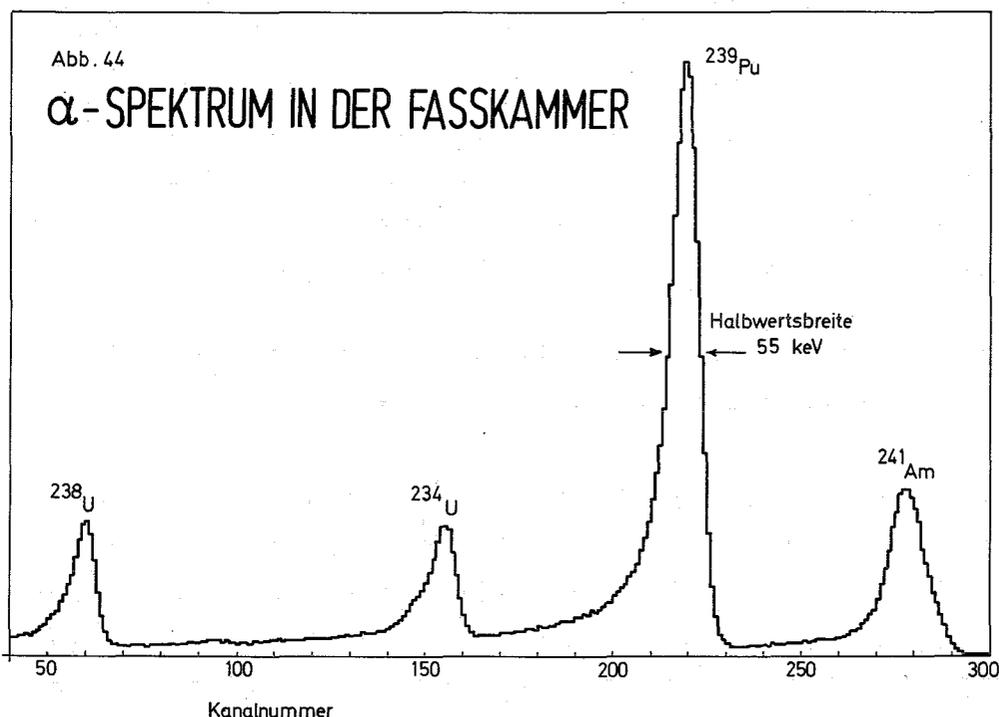
Bei Testversuchen zur Diskriminierung von  $^{131}\text{J}$  gegenüber anderen Spaltprodukten (simuliert durch  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ) erwies sich die 4 $\pi$ -Methode ebenfalls als optimalste Methode (Abb. 43).

#### 4.3.4 $\alpha$ -Spektroskopie

H. Fessler

Für die  $\alpha$ -Spektroskopie großflächiger Proben von 7 000 cm<sup>2</sup> wurde eine zylindrische Faßkammer gebaut und im Jahre 1969 in Betrieb genommen (6). Im Laufe des Jahres 1970 konnte

durch elektronische Maßnahmen und durch Reinigung des Argon-Methan-Zählgas von Sauerstoff ein Energieauflösungsvermögen von besser als 50 keV für die  $\alpha$ -Strahlung des natürlichen Urans erreicht werden (Abb. 44). Im allgemeinen wird man sich jedoch mit dem ohne Gasreinigung erreichten Auflösungsvermögen von besser als 65 keV begnügen.



#### 4.3.5 Methode zur Messung der mittleren Breite einer $^{41}\text{Ar}$ -Abluftfahne

H. Fessler

Für diese Aufgabe wurde ein spezielles Compton-Spektrometer konzipiert und im Labor im Modellversuch getestet (Abb. 45). Detektor 1 einerseits und die Detektoren 2 und 3 andererseits sind in Koinzidenz geschaltet und erzeugen dadurch bei der Analyse der Impulshöhenverteilung von Detektor 1 je nach Einfallswinkel der  $\gamma$ -Strahlung unterschiedliche Impulshöhenverteilungen (Abb. 46).

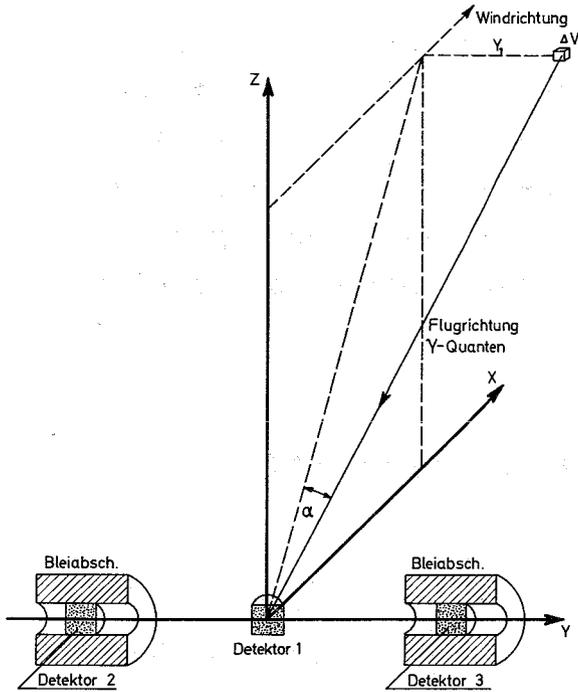


Abb. 45 Comptonspektrometer

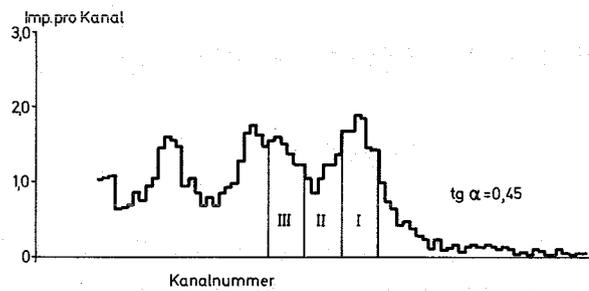
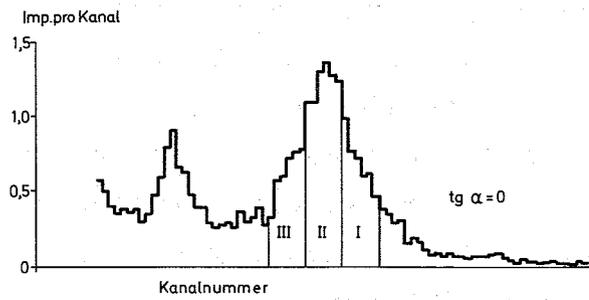


Abb. 46 Impulshöhenverteilung als Fkt. des Einfallswinkels der  $\gamma$ -Strahlung

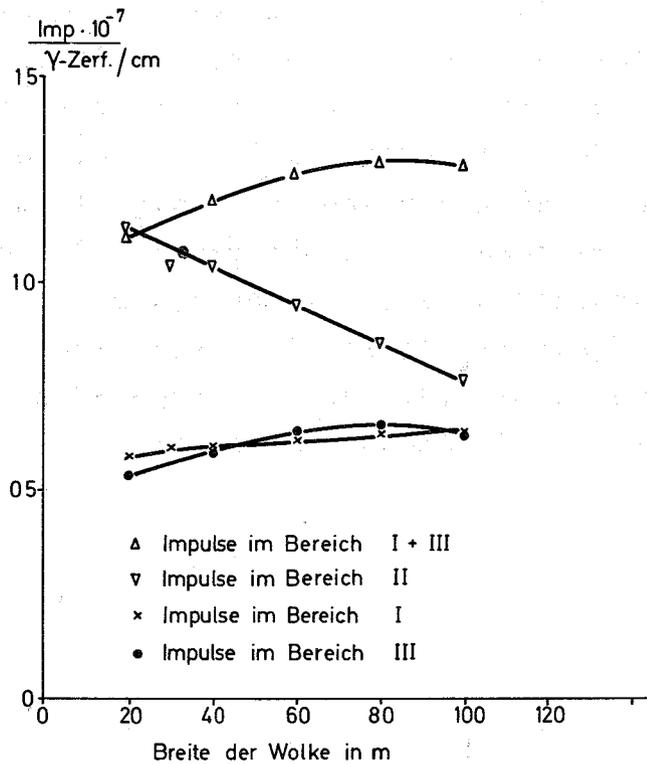


Abb. 47

IMPULSZAHLEN DER 3 IMPULSHÖHENBEREICHE  
 BEZOGEN AUF DIE  $\gamma$ -EMISSION EINER VERTIKALEN  
 1cm SCHICHT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER BREITE  
 DER WOLKE

Es werden dann Koinzidenzereignisse registriert, wenn sich in Detektor 1 Comptoneffekte ereignen, deren zugehörige Comptonquanten die Detektoren 2 oder 3 erreichen. Legt man nun in geeigneter Weise drei Impulshöhenbereiche fest, so kann man aus deren Impulsraten bei bekannter mittlerer Höhe der Argonwolke die mittlere Breite berechnen. Abbildung 47 zeigt das Ergebnis einer solchen Rechnung mit einer angenommenen Höhe von 100 m.

#### 4.3.6 Luftfeuchte-Probensammlung mit Trockenmitteln

J. Pawelzik

Zum Nachweis von Tritium in Luft wird in der Umgebungsüberwachung die Luftfeuchtigkeit mit Trockeneis ausgefroren. Es wurde die Möglichkeit untersucht, die Luftfeuchtigkeit mit Kieselgel-Perlen zu sammeln und bei der Regenerierung des Trockenmittels zu gewinnen. Hierzu wurden Meßreihen im Freien und im Windkanal durchgeführt, um den Einfluß von Windgeschwindigkeit, Temperatur und rel. Luftfeuchte auf die Menge der gesammelten Luftfeuchtigkeit zu ermitteln. Die Ergebnisse zeigten, daß die Windgeschwindigkeit den größten Einfluß auf die Sammelmenge hat, und daß die Sammelmenge oberhalb einer Windgeschwindigkeit von 1,5 m/s direkt proportional zur Windgeschwindigkeit ist. Bei Windstille werden innerhalb einer Sammelzeit von 2 h etwa 30 % der in 1 m<sup>3</sup> Luft enthaltenen Wassermenge gesammelt.

## 5. Strahlenschutzmessgeräte

### 5.1 Reparatur von Strahlenschutzmessgeräten

H. Edelhäuser

Durch die Einrichtung neuer Kontrollbereiche in verschiedenen Instituten des Kernforschungszentrums hat sich auch im Jahr 1970 eine Zunahme des in die zentrale Wartung einbezogenen Bestandes an Strahlenschutzmeßgeräten und Überwachungsanlagen ergeben.

Zum Jahresende 1970 waren - ohne Berücksichtigung von Überwachungsanlagen - 2668 Strahlenschutzmeßgeräte bzw. Geräteteile mit einem Anschaffungswert von 4,38 Mio. DM zu betreuen.

Art und Anzahl der Reparaturen, die im Jahr 1970 an Strahlenschutzmeßgeräten (ohne Überwachungsanlagen) durchgeführt wurden, sind der Tabelle 23 zu entnehmen. Dabei ist zu bemerken, daß die Beseitigung kleinerer Defekte nicht immer mittels Reparaturschein registriert wird, so daß die in der 1. Zeile genannten Zahlen sicher zu klein sind und keine Vergleiche zulassen.

	ältere Geräte (T>Garantiezeit)	neuere Geräte (T<Garantiezeit)
kleinere Reparaturen, (z. B. Kabelbruch, Wackelkontakt usw.)	198	9
mech. Reparaturen	75	6
elektron. Reparaturen	198	26
Reparaturen durch den Hersteller	98	65

Tab. 23: Anzahl der Reparaturen an Strahlenschutzmeßgeräten  
(ohne Überwachungsanlagen) im Jahr 1970

Vergleicht man die Anzahl aller Reparaturen nach Zeile 2 - 4 für ältere und neuere, noch in der Garantiezeit befindliche Geräte, so ergibt sich, daß etwa 20 % der Geräte-reparaturen auf Neugeräte entfallen. Andererseits ergibt sich aus einer mittleren Lebensdauer der Geräte von 6 Jahren und einem leicht steigenden Gerätebestand ebenfalls ein Anteil von etwa 20 % der Neugeräte am gesamten Bestand. Das bedeutet, daß die Ausfallwahrscheinlichkeit neuer Geräte - bei denen allerdings häufig gleiche Fehler in einer ganzen Serie auftreten - im Mittel ebenso groß wie bei älteren Geräten ist.

### 5.2 Wartung von Dosisleistungsmessgeräten

H. Edelhäuser, H. Fessler

Durch die Erstellung von Prüfanweisungen konnte die elektronische Wartung von Dosisleistungsmeßgeräten erweitert werden. Der am 1.1.1971 beginnende Wartungsplan berücksichtigt folgende Gerätetypen: Graetz X-10, X-50, X-500, X-1000, Jordankammer, Total 6150 und 6112. Nach der elektronischen Überprüfung werden die Geräte jeweils einer Kalibrierung unterzogen. Die Tabelle 24 gibt einen Überblick über die im Jahr 1970 an Dosisleistungsmeßgeräten durchgeführten Wartungsarbeiten.

	elektron. Überprüfung	Kalibrierung
Jordankammer	129	181
Graetz X-10	19	24
" X-50	97	137
" X-500	9	24
" X-1000	5	11
Total 6150	10	61
" 6112	0	42
Frieseke FH 40	0	23
Taschenwarngeräte	0	89
Neutronenmeßgeräte	0	20
Sonstige Geräte	0	29
Gesamt	269	641

Tab. 24: Anzahl der Wartungsarbeiten an Dosisleistungsmeßgeräten im Jahr 1970

### 5.3 Wartung von Ueberwachungsanlagen

H. Edelhäuser, A. Schmitt

Im Jahr 1970 wurden zwei neue Luftüberwachungsanlagen in Betrieb genommen und überprüft. Die Beschaffung zweier weiterer Anlagen wurde vorbereitet. Die Erweiterung einer Luftüberwachungsanlage um eine  $\beta$ -Aerosolmeßstelle und eine Bestellung über die erste Umbauphase zur Modernisierung einer anderen Anlage wurden ebenfalls durchgeführt.

Die an das Überwachungssystem der Alarmzentrale angeschlossenen Luftüberwachungsanlagen wurden mit verschließbaren Plexiglastüren versehen, so daß sämtliche Regelknöpfe gesichert sind, durch deren absichtliches oder versehentliches Verdrehen Alarme ausgelöst werden könnten. Außerdem wurden einheitliche Kurzbeschreibungen dieser Anlagen erstellt, die dem Einsatzleiter vom Dienst eine schnelle Analyse der Ursache eines Abluftalarms ermöglichen sollen.

Bis zum Jahresende 1970 waren elf stationäre Überwachungsanlagen in der Abteilung Dekontaminationsbetriebe, im Institut für Heiße Chemie, im Institut für Material- und Festkörperforschung, im Institut für Radiochemie, im SNEAK- und im Zyklotrongebäude in die zentrale Wartung einbezogen. Diese Anlagen bestehen aus insgesamt 47 Meßstellen für Luftüberwachung, 21 Meßstellen für Pegelüberwachung (Zyklotrongebäude und Neutronenflugkanal) sowie sechs Meßstellen für Kritikalitätsüberwachung (Institut für Heiße Chemie). Darüber hinaus waren 22 fahrbare Anlagen und vier tragbare Geräte für die Luftüberwachung zu betreuen.

Im Jahre 1970 erfolgte ein weiterer Ausbau der Zählrohr-Monitoranlage ZMA-67 für die Umgebungsüberwachung. Von den neuentwickelten Zählrohr-Meßköpfen mit einem Meßbereich von

10 mR/h bis 1000 R/h wurden fünf Stück gefertigt, einzeln im Temperaturbereich von  $- 20^{\circ}$  C bis  $+ 50^{\circ}$  C getestet und am Hochdosis Eichstand bis 1000 R/h kalibriert. Sie wurden anstelle der bisher verwendeten Hochdosisköpfe eingesetzt, die einen Meßbereich von 1 mR/h bis 1 R/h hatten. Ferner wurden Schaltplatinen für eine weitere Serie von 10 Stück dieser neuen Hochdosis-Meßköpfe gefertigt.

Die Überwachungszentrale in der Wiederaufarbeitungsanlage erhielt eine Parallel-Registrierung für die Meßstellen am Zaun der WAK, deren Meßwerte bisher nur in der Umgebungsüberwachungszentrale registriert wurden. Hierzu wurden 6 Stück der im Vorjahr entwickelten Schreiberverstärker gefertigt und eingesetzt.

Erwähnt sei schließlich noch die Wartung der verschiedenen Spektroskopie-Meßplätze, des Ganzkörperzählers, der Dosis-Auswertegeräte und der Fernsehanlage des Hochdosis-Eichstandes. Bei diesen Geräten kommt es auf eine exakte Einhaltung von Impulsformen und auf eine extreme Stabilität an, die Fehlersuche erfordert daher oft umfangreiche Untersuchungen und beträchtliche Zeit.

#### 5.4 Erprobung neuer Geräte

*B. Burgkhardt, H. Edelhäuser*

Zur Vorbereitung von Gerätebestellungen wurden folgende neu auf dem Markt erschienene Gerätetypen erprobt:

Kontaminationsmonitor: Herfurth H 1359

Großflächendurchflußzählrohr: Herfurth HGZ II

Stabdosisimeter: Landis u. Gyr EQC 4;

Physiotechnic SEQ. 5 und SEQ. 6

Luftstaubsammler der Fa. F.C.R./Le Chesnay

## Die Dosisleistungswarngeräte

Bandelin AS 9 und AS 7	Danfysik Hipchick
Graetz Gammatest	Baird-Atomic Monitalert
Victoreen Tattler	Total 6126

wurden einem Vergleichstest unterzogen.

Die Erprobung und Beurteilung von Kontaminationsmeßgeräten umfaßt den mechanischen Aufbau - Größe, Gewicht, Stabilität, Dekontaminierbarkeit, Spritzwasserdichtigkeit -, den elektronischen Aufbau - integrierte Kreise, Steckkarten, Verdrahtung, Dimensionierung von Bauelementen, Erwärmung des Gerätes bei Dauerbetrieb -, die Anwendbarkeit - Anschluß verschiedener Sonden, Einstellbarkeit der Hochspannung, Dämpfungszeitkonstanten, Ablesegenauigkeit, Störstrahlungskompensation -, die Spannungsversorgung - bei Netzbetrieb: Welligkeit, Langzeitkonstanz, Einfluß von Netzschwankungen; bei Akku- oder Batteriebetrieb: Stromentnahme, max. Betriebszeit; bei Pufferbetrieb: Überladungsschutz -, das Hochspannungsteil - Spannungskonstanz, Anzeigegenauigkeit - und das Meßteil - Eingangsempfindlichkeit, Grenzfrequenz, Übersteuerungsfestigkeit, Temperaturabhängigkeit, Alarmschwelle, Schreiber Ausgang -.

Die Prüfung der Großflächendurchflußzähler erfolgt durch die Aufnahme von Zählratenkennlinien und durch Empfindlichkeitsbestimmungen. Nach Festlegung der Detektorspannung wird das Zählrohr mit Luft gefüllt und auf Sprühwirkung untersucht. Nach Füllung mit dem gewünschten Zählgas werden die Empfindlichkeiten mit flächenhaften Präparaten von 60 mm  $\varnothing$  über der Detektormitte sowie mit punktförmigen Präparaten an verschiedenen Stellen der Detektoroberfläche bestimmt, um die zum Teil beträchtlichen geometrieabhängigen Unterschiede festzustellen.

Die Aufnahme der Zählratenkennlinien erfolgt mit großflächigen Präparaten (Präparatefläche > Detektoroberfläche) unter Verwendung eines automatischen Plateauschreibers. Die Erfahrungen mit diesem Gerät haben gezeigt, daß nur dann vergleichbare Kennlinien erhalten werden, wenn der Anschluß der Sonde an den Plateauschreiber mit gleicher Gesamtkapazität (evtl. mehrere Sonden und längere Verbindungskabel) und mit gleicher Eingangsempfindlichkeit erfolgt.

Zur Beurteilung der Stabdosisimeter wurden neben Größe, Gewicht und Preis besonders die Energieabhängigkeit, der Selbstablauf und die Erschütterungsfestigkeit der Dosisanzeige herangezogen.

Der Vergleichstest der Dosisleistungswarngeräte berücksichtigte Messungen der Energie-, Richtungs- und Temperaturabhängigkeit sowie Linearität der Dosisleistungsanzeige, Schwellenansprech- und Unterbrechungszeiten und Verhalten bei hohen Dosisleistungen. Außerdem wurden auch bei diesen Geräten das Gewicht, die Größe, das Gehäuse, die Anzahl der einstellbaren Schwellen, das Vorhandensein einer Dosisanzeige und Batteriekontrolle und schließlich der Preis verglichen. Es zeigte sich, daß es weitgehend von den Ansprüchen und Anwendungsbedingungen der Benutzer abhängig ist, welches dieser Geräte empfohlen werden kann.

## 5.5 Elektronische Entwicklungen

### 5.5.1 Messelektronik für $\beta$ -Hochdosissonde

H. Michel

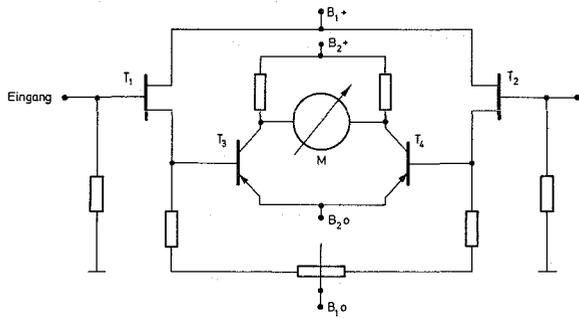


Abb. 48 Funktionsschaltbild des Brückenverstärkers

Zu einer Sonde für die Messung starker  $\beta$ -Kontaminationen mit Plastikszintillator und Photodiode wurde eine Meßelektronik gebaut. Da Sondenströme im Picoampere-Bereich mit großer Stabilität gemessen werden

müssen, wurde ein zweistufiger Gleichstrom-Brücken-Verstärker entwickelt, dessen erste Stufe mit Feldeffekttransistoren bestückt ist. Die zweite Brückenstufe ist mit der ersten galvanisch gekoppelt und enthält im Brückenweig das Anzeigeinstrument. Das Gerät erfaßt in zwei Meßbereichen Sondenströme von 0 bis 50 pA bzw. von 0 bis 500 pA. Das Funktionsprinzip ist der Abb. 48 zu entnehmen.

### 5.5.2 Messelektronik für die differentielle Abtastung von Glasdosimetern

H. Röber

Bei der differentiellen Abtastung von Glasdosimetern mit einem UV-Lichtstrahl durch einen etwa 1 mm breiten Spalt ist die resultierende Fluoreszenzlichtmenge sehr gering. Die Nachweisempfindlichkeit des bisher zur integralen Auswertung verwendeten Auswertegerätes TOSHIBA FGD-3B reicht daher bei der differentiellen Auswertung nicht mehr zum Nachweis kleiner Dosen aus. Dieses Gerät arbeitet nach dem Prinzip der Gleichstromverstärkung mit einer Elektrometerschaltung und Kompensation des Dunkelstromes. Die wünschenswerte Steigerung der Nachweisempfindlichkeit um etwa zwei

Zehnerpotenzen führt bei diesem Prinzip zu ernsthaften Stabilitätsschwierigkeiten, zumal dann der Meßeffect in derselben Größenordnung liegt wie der Dunkelstrom. Daher wurde zu der vorhandenen Optik eine neue Auswertelektronik entwickelt, die eine um zwei Zehnerpotenzen bessere Nachweisempfindlichkeit besitzt, die genannten Nachteile jedoch durch Verwendung eines selektiven Wechselspannungsverstärkers mit phasenempfindlicher Gleichrichtung vermeidet (Abb. 49).

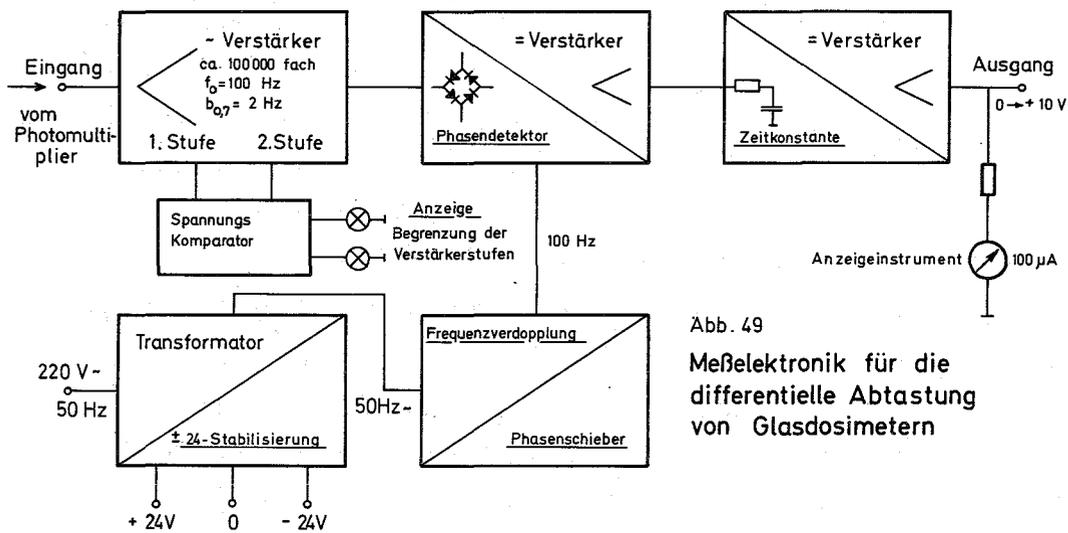


Abb. 49  
Meßelektronik für die  
differentielle Abtastung  
von Glasdosimetern

Die Umwandlung des Meßsignals in eine periodische Wechselgröße erfolgt nicht durch eine rotierende Schlitzscheibe wie z. B. bei optischen Spektrometern. Es wird hier die Tatsache ausgenützt, daß die zur Anregung vorhandene Quecksilberhochdrucklampe mit Netzfrequenz gespeist wird und einen annähernd sinusförmigen Helligkeitsverlauf mit 100 Hz liefert. Die am Arbeitswiderstand des Photomultipliers anfallende 100 Hz-Wechselspannungskomponente ist daher proportional zur Intensität des Fluoreszenzlichtes, d. h. zur Dosis. Der Dunkelstrom des Photomultipliers erscheint als Rauschspektrum. Der nachfolgende Wechselspannungsverstärker

besitzt eine Verstärkung bis zu 100 000fach und hat eine Bandbreite von nur 2 Hz. Das Signal/Rausch-Verhältnis wird dadurch wesentlich verbessert. Eine weitere Verbesserung bringt der nachfolgende phasenempfindliche Gleichrichter, der alle Wechselspannungsanteile unterdrückt, die nicht in exakt gleicher Phasenlage ankommen wie das 100 Hz-Referenzsignal, das aus derselben Netzfrequenz gewonnen wird, mit der die anregende Quecksilber-Hochdrucklampe betrieben wird. Eine Kompensation des Dunkelstromes ist also nicht nötig, und es ist sogar möglich, saubere Ausgangssignale aus Meßsignalen zu gewinnen, die wesentlich kleiner als das Rauschen des Photomultipliers sind. Die Integrationszeitkonstante hinter dem phasenempfindlichen Gleichrichter kann zwischen 0,2 und 5 s in 5 Stufen gewählt werden. Der Meßwert kann an einem Zeigerinstrument abgelesen und gleichzeitig über einen Gleichspannungsverstärker mit 10 V-Ausgangsspannung von einem XY-Schreiber direkt oder über einen Logarithmierverstärker registriert werden.

Zur exakten Einstellung der Phasenlage ist zwischen Meßsignal und Referenzsignal ein Phasenschieber eingebaut, der einmalig eingestellt werden muß. Zwei fest eingestellte Schwellen mit Warnlampen melden eine evtl. auftretende Übersteuerung des Verstärkers, die sonst nicht ohne weiteres erkannt würde.

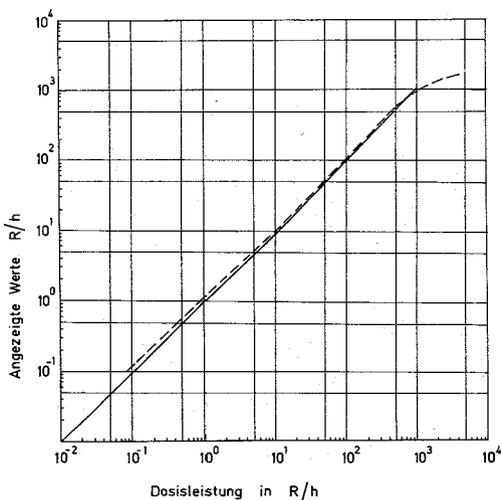
Phasenempfindliche Meßschaltungen betreibt man üblicherweise nicht mit Frequenzen, die mit Oberwellen der Netzfrequenz zusammenfallen, da hierbei unerwünschte Brummeinstreuungen am Ausgang nicht von Nutzsignalen unterschieden werden können. Der Einfachheit halber wurde hier trotzdem mit 100 Hz gearbeitet, da die Hochdrucklampe Wechsellicht abgibt. Die Verwendung einer anderen Frequenz hätte eine Speisung der Hochdrucklampe mit einem stabilisierten Gleichstrom, eine rotierende Schlitzscheibe und die Erzeugung einer stabilen Referenzfrequenz erfordert. Durch die

Verwendung von integrierten Analogverstärkern war ein kompakter Aufbau mit guter Abschirmung möglich und mit extremer Siebung konnten jegliche Brummeinstreuungen vermieden werden.

### 5.5.3 Ein Eichgenerator zur Ueberprüfung von Hochdosis-Messstellen

H. Röber

Die Überprüfung und Kalibrierung der neuinstallierten Hochdosismeßstellen für den Dosisleistungsbereich von 10 mR/h bis 1000 R/h kann nicht mit Eichpräparaten am Zählrohr vorgenommen werden. Der Umgang mit den hierzu notwendigen hohen Aktivitäten würde umfangreiche Strahlenschutzmaßnahmen erfordern und könnte Betriebsstörungen verursachen. Daher wurde jeder einzelne Zählrohrmeßkopf zunächst am Hochdosis-Eichstand bis 1000 R/h exakt kalibriert und dann nach Aufstellung im Gelände mit simulierten Zählrohrimpulsen geprüft. Hierzu wurde der tragbare Eichgenerator EG 70 entwickelt.



Meßkopf 8 H  
mit Zählrohr in Eichhalle ---  
Abb. 50 mit Eichgenerator EG 70 —

VERGLEICH DER ANGEZEIGTEN MESSWERTE ZWISCHEN  
EICHGENERATOR UND ZÄHLROHRBETRIEB

Dieses Gerät kann wahlweise eine von sechs festen Impulsfrequenzen liefern, die so festgelegt sind, daß sie jeweils der Impulsrate des Zählrohres (Valvo 18529) bei vollen Dekaden der Dosisleistung entsprechen. Die Testimpulse besitzen eine feste Amplitude und geeignete Impulsform. Die Einspeisung in den Meßkopf erfolgt über einen Zwischenstecker, der anstelle des Zählrohres eingeschraubt wird. Das Gerät ist nur 120 mm • 195 mm • 45 mm groß und kann an einem Tragegurt umgehängt werden.

Zur Bedienung genügt ein einziger Drehknopf, ein Zeigerinstrument dient zur Batteriekontrolle. Bei der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die Konstanz und Temperaturunabhängigkeit der Impulsfrequenzen gelegt. Die Stromversorgung erfolgt aus einer eingebauten 30 V-Batterie über eine Stabilisierungsschaltung.

In der Abb. 50 ist als typisches Beispiel aufgetragen, welche Anzeigen man auf der exakt logarithmisch geteilten Skala des Meßeinschubes erhält, wenn man die elektronische Eichung mit dem Eichgenerator vornimmt und dann mit einem nicht ausgesuchten Zählrohr am Hochdosis-Eichstand mißt. Die angezeigten Werte stimmen auf besser als 20 % mit den Angaben für die entsprechende Dosisleistung des Hochdosis-Eichstandes überein. Diese Anzeigegenauigkeit ist gut und ausreichend für eine Zählrohrmeßstelle mit 5-dekadischem Meßbereich.

#### 5.5.4 Abschaltautomatik für Eindampfanlagen

H. Röber

Beim Eindampfen von Flüssigkeiten in flachen Probenschalen mit Hilfe von Heizstrahlern besteht die Gefahr, daß die Probe überhitzt wird und flüchtige Aktivitäten entweichen. Die Temperatur der Probenschale steigt nach dem Verdampfen des letzten Feuchtigkeitsrestes innerhalb weniger Sekunden auf über 150° C. Die Abschaltung des Heizstrahlers durch Schaltuhren, die z. B. bei käuflichen Eindampfanlagen angewandt wird, ist zu ungenau, da die Eindampfzeit von der Menge und Anfangstemperatur der Probe abhängt. Auch Feuchtigkeitsfühler sind zu ungenau und in der Praxis zum Abschalten nicht brauchbar, da sie für jede einzelne Probe justiert werden müssen und kontaminiert werden. Sie werden nur gelegentlich zum automatischen Nachfüllen von Flüssigkeit benützt.

Daher wurde eine Abschaltautomatik entwickelt, die diese Nachteile vermeidet und ein Eindampfen ohne Aufsicht ermöglicht. Als Abschaltkriterium wird hier die Temperatur

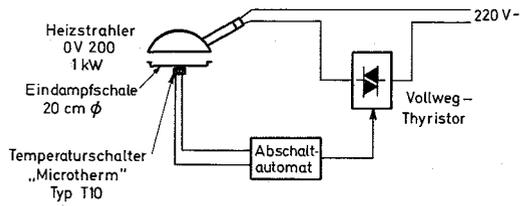


Abb. 51 Abschaltautomatik für Eindampfanlage

am Boden der frei gelagerten Eindampfschale benützt, die mit einem schnellansprechenden Temperaturschalter kleiner Wärmekapazität (Microtherm, Typ T 10) überwacht wird. Dieser ist federnd mon-

tiert und gibt beim Einlegen der Probenschale guten Wärmekontakt. Aus Sicherheitsgründen wird der Temperaturschalter mit Niederspannung betrieben. Bei seiner Ansprechtemperatur von  $106^{\circ} \text{C} \pm 2\%$  schaltet er über ein Relais und einen Halbleiter-Leistungsschalter den Heizstrahler ab. Eine Selbsthaltung verhindert das ungewollte Einschalten beim Absinken der Temperatur. Die neuinstallierte Eindampfanlage der Abwasserüberwachung, bei der acht Proben gleichzeitig eingedampft werden können, wurde mit einer solchen Abschaltautomatik ausgerüstet.

## 5.6 Entwicklung eines Prototyp-Jodmonitors

J. Wilhelm

Für eine kontinuierliche Messung kleinster Konzentrationen von gasförmigem Jod in Luft steht z. Z. kein Gerät zur Verfügung, das eine Messung von elementarem und organisch gebundenem Jod mit gleichem Wirkungsgrad erlaubt und dadurch Aussagen über die tatsächliche Jodkonzentration in Luft zuläßt. Im Handel erhältliche Geräte, die Jod zur Messung auf einem Aktivkohle-Filterpapier sammeln, scheiden organisch gebundenes Jod praktisch nicht ab. Geräte, bei denen eine kontinuierlich mit Luft beaufschlagte Aktivkohle-Filterpatrone ausgemessen wird, zeigen wegen des stark abweichenden Abscheidungsverhaltens von elementarem und organisch gebundenem Jod verschiedene Wirkungsgrade für beide Spaltjodkomponenten. Da der Abscheidegrad für Methyljodid, einer in Luft häufig auftretenden organischen Jodkomponente, stark von der relativen Luftfeuchte abhängt, ist die Verteilung des Methyljodides in der Filterpatrone und damit der Wirkungsgrad der Meßanordnung zusätzlich von der Luftfeuchte abhängig.

In Zusammenarbeit mit einer Meßgerätefirma wurde ein Prototyp-Jodmonitor entwickelt, der eine Messung von  $^{131}\text{J}$  in trockener und feuchter Raumluft erlaubt. Das Meßproblem wurde mit einer ringförmigen Anordnung eines geeigneten Jodadsorbers um einen  $\text{NaJ(Tl)}$ -Szintillationskristall und Vorheizung der angesaugten Luft gelöst. Der Aufbau des Detektors wurde so gewählt, daß eine Voradsorption von Jod im Gerät auf dem Wege zum Adsorberbett trotz der Einrichtung zur Aufheizung der Luft nicht in nennenswertem Maße auftritt.

Der Versuchsaufbau bestand aus einer Einrichtung zur Herstellung von Luft mit einer relativen Feuchte von 95 - 100 % einem Mischgefäß zur Zugabe von radioaktiv markiertem elementarem Jod oder Methyljodid und dem Jodmonitor aus

Jodadsorber, NaJ(Tl)-Szintillationsdetektor, Einkanalanaly-  
sator und Ratemeter. Die Abluft aus dem Jodadsorber wurde  
zur Erfassung von durchgebrochener Radioaktivität durch  
mehrere nachgeschaltete, geheizte Aktivkohle-Filterbetten  
geleitet, entfeuchtet und über eine Membranpumpe in einen  
Abzug abgegeben.

Bei den Versuchen mit Prüfmedium in Raumluft wurde auf eine  
gesonderte FeuchteEinstellung verzichtet, der angegebene  
Bereich von 40 - 60 % r.F. entspricht den Schwankungen der  
Luftfeuchte im Labor während der Versuchsdauer. Der Jodad-  
sorber und die Aktivkohlebetten wurden nach den Versuchen  
demontiert und in einer gesonderten Meßanordnung ausgemes-  
sen ( $\gamma$ -Spektrometer zur Messung des Photopeaks der 0,36 MeV  
 $\gamma$ -Linie von  $^{131}\text{J}$ ). Die insgesamt beaufschlagte Aktivität  
ergab sich aus der Summe der im Jodadsorber und den nach-  
folgenden Aktivkohlebetten abgeschiedenen Aktivität. Der  
Abscheidegrad errechnet sich aus dem Anteil der im Jodad-  
sorber abgeschiedenen Aktivität an der Gesamtaktivität. Bei  
den nachfolgend angegebenen Messungen wurde der Detektor  
des Jodmonitors nicht abgeschirmt. Der Luftdurchsatz durch  
den Jodmonitor betrug  $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ , dies entspricht der norma-  
len Atemleistung eines erwachsenen Menschen.

Nach Optimierung der Dimensionen und Lage des Jodadsorbers,  
der Temperatur und Temperaturkonstanthaltung des Gases im  
Detektor (zur Erreichung eines geeigneten Taupunktaban-  
des bei Messungen von Jod in Feuchtluft) und der Kanalbrei-  
te wurden mit dem Prototyp-Gerät die in der Tabelle 25 an-  
gegebenen Werte gemessen. Ein Einfluß von Radon- und Tho-  
ron-Folgeprodukten auf den Nulleffekt des Gerätes war bei  
der vorliegenden, nicht abgeschirmten Version im Laufe der  
Betriebsdauer vor der Beaufschlagung mit Jod (Vorlaufzeit  
mit Luftdurchsatz bis zu 26 h) nicht festzustellen.

Tab. 25: Wirkungsgrad eines Prototyp-Jodmonitors in Abhängigkeit von der chemischen Form des Jodes und der Luftfeuchte

Beaufschlagung des Jodadsorbers mit radioaktiv markiertem Methyljodid oder Jod angegebener Aktivität, Beladung im µg-Bereich. Detektor unter Laborbedingungen geprüft, Temperatur der Umgebungsluft 22 - 27<sup>0</sup> C. Bei den Experimenten mit Feuchtluft von 95 - 100 % r.F. war der Jodadsorber vor der Jodeinleitung bereits im Wasserdampf-Adsorptionsgleichgewicht mit der anströmenden Luftfeuchte.

Relative Luftfeuchte in %	<sup>131</sup> J-Aktivität in nCi	Nutzrate Imp/s	Nullrate Imp/s	Wirkungsgrad des Detektors η in %	Abscheidegrad des Adsorbers ε in %
40 - 60	528 (CH <sub>3</sub> J)	582	8	3,0	> 99,9
"	4000 "	4150	6	2,8 ++)	99,98
> 100 <sup>+) )</sup>	28 "	35	18	3,4	90,6
95 - 100	108 "	147	8	3,7	99,72
> 100 <sup>+) )</sup>	156 "	247	23	4,3	98,0
95 - 100	530 "	696	4	3,6	99,81
40 - 60	59 (J <sub>2</sub> )	72	12	3,3	> 99,9
"	61 "	68	16	3,0	> 99,9
"	73 "	104	16	3,9	> 99,9
"	80 "	94	16	3,2	> 99,9

+ ) Starker Beschlag an der Rohrwandung vor dem Detektor, überfeuchtet.

++) Verschiebung der Peaklage wegen zu hoher Beaufschlagung mit Aktivität.

Der Abscheidegrad  $\epsilon$  des Jodadsorbers lag bei allen Versuchen über 99,7 %, soweit eine relative Luftfeuchte von 100 % nicht überschritten wurde. Dies bedeutet für die Messung der Jodkonzentration in Luft im Rahmen des Strahlenschutzes eine praktisch vollständige, von der chemischen Form unabhängige Abscheidung des Jodes im Joddetektor. Auf die Einführung des Abscheidegrades  $\bar{\epsilon}$  in der folgenden Formel kann daher verzichtet werden.

Der mittlere Wirkungsgrad  $\bar{\eta}$  des Joddetektors betrug 3,4 %. Die Empfindlichkeit des Jodnachweises und die Sammeldauer bis zum Erreichen einer Alarmschwelle sind, außer vom Wirkungsgrad, abhängig von der Jodkonzentration im angesaugten Gas und der Höhe der Nullrate. Die Alarmschwelle wird im folgenden als das X-fache der Nullrate angegeben.

Für die Zeit  $t$  bis zum Erreichen einer Alarmschwelle durch Ansammlung von Aktivität im Jodadsorber gilt:

$$t = \frac{(x-1) \cdot R_0 \cdot k \cdot 100}{c \cdot v \cdot \bar{\eta}} = \frac{(x-1) \cdot R_0 \cdot 8,0 \cdot 10^{-10}}{c \cdot v} \quad (\text{h})$$

$x$  = Faktor, der die Höhe der Alarmschwelle in Vielfachem der Nullrate angibt

$R_0$  = Nullrate in Imp/s

$$k = \frac{1}{3,7 \cdot 10^{10}}$$

$c$  =  $^{131}\text{J}$ -Konzentration in Luft in Ci/m<sup>3</sup>

$v$  = Luftdurchsatz durch Detektor in m<sup>3</sup>/h

$\bar{\eta}$  = mittlerer Wirkungsgrad des Joddetektors in %

Für eine  $^{131}\text{J}$ -Konzentration in Luft von  $6 \cdot 10^{-9} \text{ Ci/m}^3$  (zulässiger Konzentrationswert im Kontrollbereich nach der 1. Strahlenschutzverordnung), den Luftdurchsatz von  $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ , eine Nullrate von  $8 \text{ Imp/s}$  und eine Alarmschwelle in Höhe der 3fachen Nullrate ergibt sich demnach eine Sammelzeit  $t$  von  $1,2 \text{ h}$  bis zum Erreichen der Alarmschwelle.

In dieser Zeit hätte ein Erwachsener maximal die gleiche Menge  $^{131}\text{J}$  inhaliert, die im Jodadsorber abgeschieden wurde.

Es gilt:

$$A_{\text{inhaliert}} = t \cdot c \cdot v,$$

und mit den angenommenen Werten:

$$A_{\text{inhaliert}} = 12,9 \cdot 10^{-9} \text{ Ci.}$$

Von dieser Aktivität gelangen ca.  $3 \text{ nCi}$  in die Schilddrüse. Dieser Wert liegt weit unter der zulässigen Schilddrüsen-Dauerbelastung für beruflich strahlenexponierte Personen von  $140 \text{ nCi}$ .

Die Empfindlichkeit des Jodmonitors wird durch Abschirmung wesentlich erhöht. Die Arbeiten am Jodmonitor werden fortgesetzt; die Verwendung eines in der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit/Chemie entwickelten keramischen Adsorbentmaterials zur gesteigerten Selektivität der Jodabscheidung gegenüber Edelgasadsorption ( $^{133}\text{Xe}$ ) ist geplant.

## 6. Jodfilterprogramm

H. Schüttelkopf, J. Wilhelm

### 6.1 Entwicklung von Spaltjodadsorbentien auf anorganischer Basis

Aus den Abgasen kerntechnischer Anlagen ist Spaltjod abzuscheiden. Das zur Spaltjodabscheidung verwendete Adsorbentmaterial ist z. Z. imprägnierte Aktivkohle. Niedrige Entzündungs- und Desorptionstemperaturen sowie die  $\text{NO}_2$ -Empfindlichkeit von KJ-imprägnierten Aktivkohlen bedingen die Notwendigkeit zur Entwicklung anorganischer Adsorbentmaterialien.

Silberimprägnierte Zeolithe zeigten hervorragende Abscheideeigenschaften für elementares Jod und organische Jodverbindungen (J.G. Wilhelm, Trapping of Fission Product Iodine with Silver-Impregnated Molecular Sieves in "Diffusion des Produits de Fission", Actes du Congrès Saclay, Nov. 1969, S. 265-283). Der hohe Gehalt an Silber (ca. 36 %) verursacht hohe Kosten, die Säureempfindlichkeit dieser Zeolithe schließt eine Verwendung in  $\text{NO}_2$ -haltigen Abgasen von Wiederaufarbeitungsanlagen aus.

Die Entwicklung neuer anorganischer Adsorbentien auf der Basis von Katalysatorträgern der Fa. Bayer und die Prüfung des Einflusses betriebstechnisch wichtiger Parameter auf die Spaltjodabscheidung durch diese Adsorbentien werden beschrieben. Die Kieselsäure-Basis der untersuchten Katalysatorträger bedingt ihre  $\text{HNO}_3$ -Beständigkeit. Die feine Verteilung einer  $\text{AgNO}_3$ -Imprägnierung in den Poren der Katalysatorträger ermöglicht es, die Kosten für das Silber gegenüber Ag-Zeolithen auf 6 - 10 % (bei gleicher Abscheideleistung) zu senken. Eine merkliche Desorption von Spaltjod bei  $300^\circ \text{C}$  wurde selbst nach 20 Tagen Versuchsdauer nicht festgestellt.

Die untersuchten Katalysatorträger bestehen vorwiegend aus amorpher Kieselsäure; sie enthalten z. T. wenige Procente

Erdalkali- und Aluminiumoxide. Gegenüber starken Säuren und Laugen sind sie beständig. Dauerbelastungen bis zu ca.  $600^{\circ}\text{C}$  und kurzzeitige Temperaturbelastungen bis ca.  $900^{\circ}\text{C}$  haben keine Veränderung der Träger zur Folge. Die Porositäten der Katalysatorträger liegen über 50 %. Für die angegebenen Versuche wurden kugelförmige Katalysatorträger mit Durchmessern zwischen 1 und 2 mm hergestellt und verwendet.

Aufgrund ihrer Abriebsfestigkeit scheinen die Katalysatorträger KTC und KTD nur für Festbetten, KTA und KTB für Fest- und Fließbetten geeignet zu sein. Über die Meßtechnik zur Bestimmung der Abscheidegrade verschiedener Adsorber gegenüber Spaltjod wurde bereits berichtet (J.G. Wilhelm, Testing of Iodine Filters for Nuclear Installations; Treatment of Airborne Radioactive Wastes, New York, Aug. 1968, S. 403-416).

#### 6.2 Abscheidungseigenschaften verschiedener $\text{AgNO}_3$ -imprägnierter Katalysatorträger gegenüber $^{131}\text{J}$ in Form von $\text{CH}_3^{131}\text{J}$

In der Tabelle 26 werden die Abscheidegrade angegeben, die mit verschiedenen  $\text{AgNO}_3$ -imprägnierten Katalysatorträgern erreicht wurden.

Die Abscheidegrade gegenüber  $\text{CH}_3^{131}\text{J}$  waren (mit Ausnahme des KTA) sehr hoch; der Druckabfall lag bei den gegebenen Bedingungen (Luftgeschw. 25 cm/s, 10 cm Bett-Tiefe, Feuchtluft von  $30^{\circ}\text{C}$ , 1 at) zwischen 50 und 60 mmWS. Eine Reduktion der  $\text{AgNO}_3$ -Imprägnierung mit  $\text{H}_2$  bei  $300^{\circ}\text{C}$  führte zu einem mit fein verteiltem metallischen Silber imprägnierten Katalysatorträger. Grund für diesen Versuch war der Wunsch nach einer wasserunlöslichen Imprägnierung. Der Abscheidegrad dieses Materiales ist nicht zufriedenstellend.

Tab. 26: Abscheidegrade verschiedener AgNO<sub>3</sub>-imprägnierter Katalysatorträger gegenüber <sup>131</sup>I in Form von CH<sub>3</sub><sup>131</sup>I

Trägergas: Feuchtluft, 70 % r.F., 30° C

Vorbefeuchtung (nur Trägergas): ≥ 20 h

Beaufschlagung (Prüfmedium + Trägergas): ca. 1 h

Nachströmzeit (nur Trägergas): ≥ 20 h

Prüfmedium: 1,5 ± 0,5 mg CH<sub>3</sub><sup>127</sup>I/g Katalysatorträger, vermischt mit > 4 µCi CH<sub>3</sub><sup>131</sup>I/g Katalysatorträger (berechnet für 10 cm Bett-Tiefe)

AgNO<sub>3</sub>-Imprägnierung: 7 ± 1 g Ag/100 g Katalysatorträger

Adsorbiermaterial	Abscheidegrade in %			
	Bett-Tiefe in cm			
	2,5	5,0	7,5	10,0
	Verweilzeit in s			
	0,1	0,2	0,3	0,4
KTA	1,8	3,7	5,4	7,2 <sup>+</sup> )
KTC	94,0	99,80	99,986	99,9973
KTC	90,8	99,45	99,970	99,9944
KTC (mit H <sub>2</sub> red.)	1,9	3,9	5,8	7,7 <sup>+</sup> )
KTD	89,5	98,4	99,86	99,986

<sup>+</sup>) Nachströmzeit wegen Durchbruch des Prüfmediums auf 4 Stunden verkürzt.

### 6.3 Abhängigkeit der Durchlässigkeit gegenüber $^{131}\text{J}$ in Form von $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ von der Menge der $\text{AgNO}_3$ -Imprägnierung des Katalysatorträgers

Die im folgenden beschriebene Versuchsreihe wurde bei 70 % r.F. des Trägergases und  $30^\circ\text{C}$  durchgeführt. Wie zu erwarten, sinkt die Durchlässigkeit mit steigender  $\text{AgNO}_3$ -Imprägnierung. Aus Abbildung 52 ist zu entnehmen, daß bei der Forderung nach einer Durchlässigkeit von  $< 10^{-2}$  % bei 10 cm Bett-Tiefe und einer linearen Luftgeschwindigkeit von 25 cm/s eine Menge von ca. 7 - 8 g Silber (als  $\text{AgNO}_3$ ) auf 100 g Katalysatorträger aufgebracht werden muß. Diese Imprägnierungsmenge wurde bei den folgenden Versuchen vorwiegend verwendet.

### 6.4 Durchlässigkeit für $^{131}\text{J}$ in Form von $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ als Funktion der relativen Luftfeuchte des Trägergases

Da die Abscheideleistung der bisher bekannten Adsorber für Spaltjod (Aktivkohle, Ag-Molekularsiebe) stark abhängig ist von der relativen Luftfeuchte des Trägergases, wurde der  $\text{AgNO}_3$ -imprägnierte Katalysatorträger bei verschiedenen Luftfeuchten geprüft. Die gefundenen Durchlässigkeiten sind umso kleiner, je geringer die adsorbierte Menge  $\text{H}_2\text{O}$  ist. Aufgrund der Kurven in Abbildung 53 erscheint es zweckmäßig, die relative Luftfeuchte in Filteranlagen bei Anwendung der imprägnierten Katalysatorträger auf 70 % r.F. zu beschränken. Dies kann z. B. durch Erwärmung des Abgases geschehen.

Die in Abbildung 53 für 70 und 55 % r.F. angegebenen Daten stellen Mittelwerte aus 4 bzw. 2 Versuchen dar.

Prüfbedingungen :

Feuchtluft, 30°C , 70% r. F  
Vorbefeuchtung  $\geq 20$  h  
CH<sub>3</sub>J-Beladung: 1,5 ± 0,5 mg/g  
(berechnet f. 10cm Bett-Tiefe)  
CH<sub>3</sub>J-Einleitung: 1h  
Nachströmzeit mit Feuchtluft:  $\geq 20$

- = 2,5 cm Bett -Tiefe (KTC)
- x = 5,0 cm Bett -Tiefe (KTC)
- = 7,5 cm Bett -Tiefe (KTC)
- ▽ = 10,0 cm Bett -Tiefe (KTC)
- = 10,0 cm Bett -Tiefe (Zeolith)

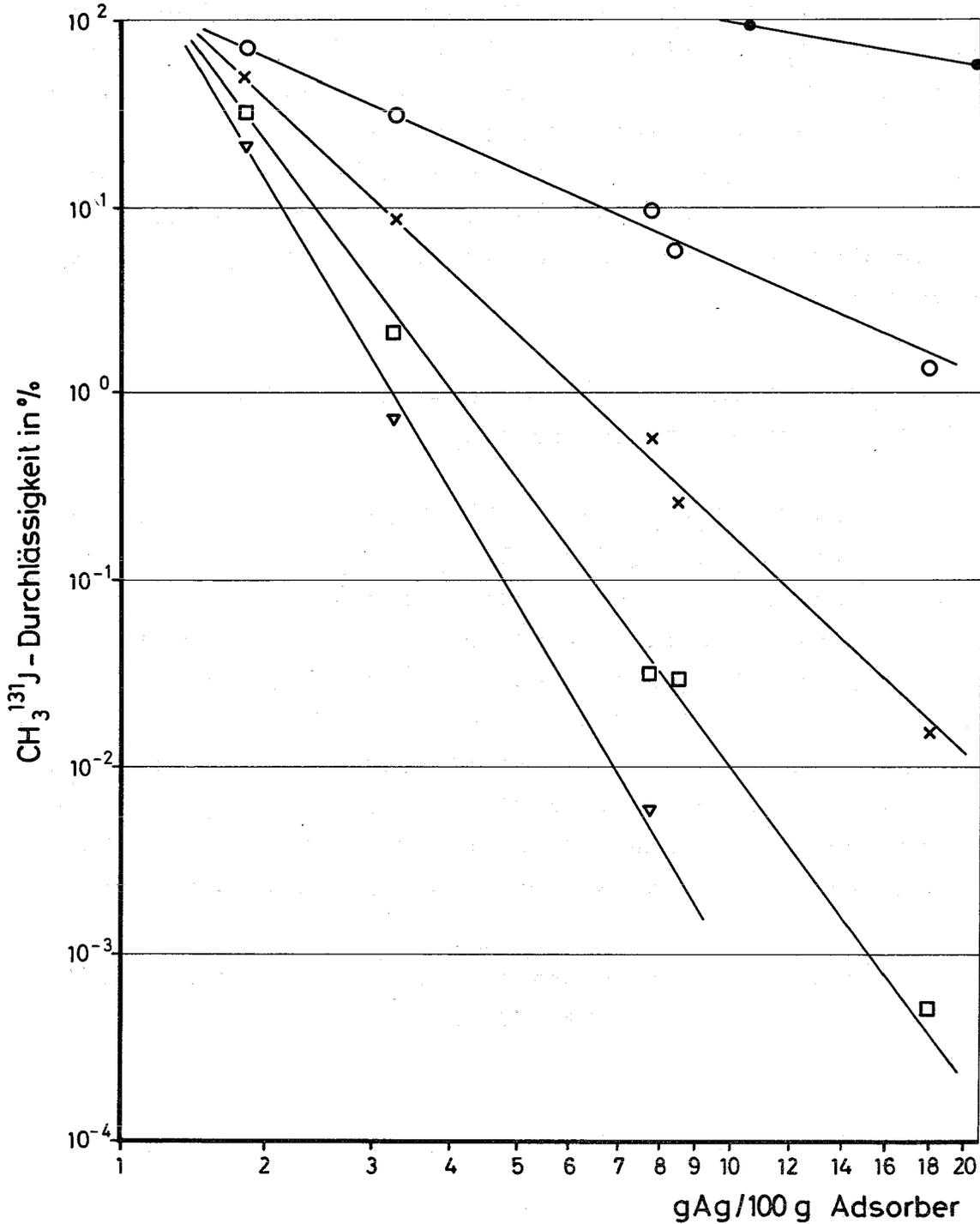


Abb. 52 CH<sub>3</sub><sup>131</sup>J-Durchlässigkeit von AgNO<sub>3</sub>-imprägnierten Adsorbentern gegen Ag - Imprägnierung.

Prüfbedingungen:

Katalysatorträger C (KTC)  
Feuchtluft, 30°C.  
Vorbefeuchtung:  $\geq 22$  h  
CH<sub>3</sub>J-Einleitung: 1 h  
Nachströmzeit:  $\geq 20$  h

Beladung:  $1,5 \pm 0,5$  mg/g  
○ = 2,5 cm Bett-Tiefe  
□ = 5,0 cm Bett-Tiefe  
△ = 7,5 cm Bett-Tiefe  
⊙ = 10,0 cm Bett-Tiefe

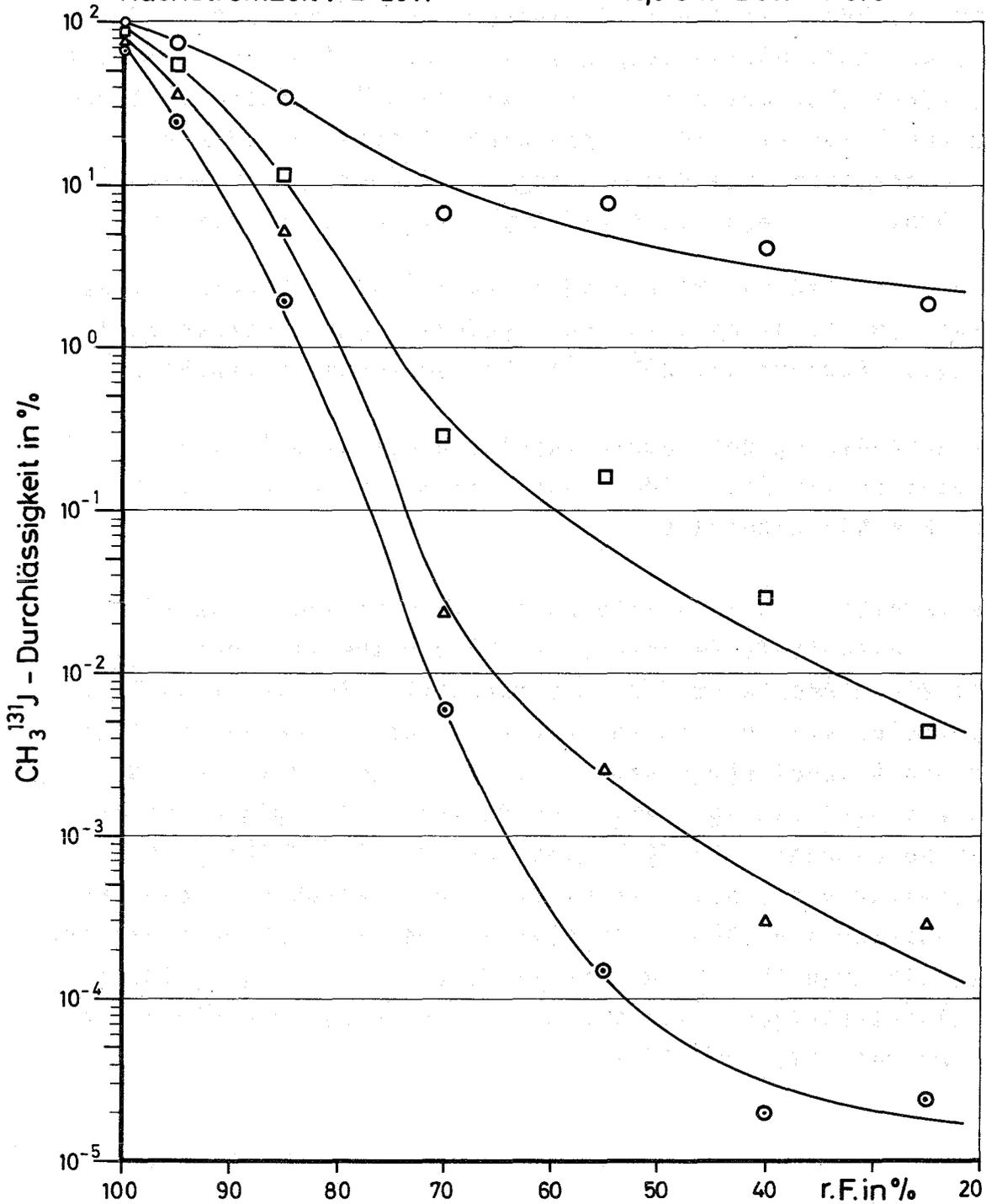


Abb. 53 CH<sub>3</sub><sup>131</sup>J-Durchlässigkeit von KTC gegen relative Luftfeuchte.

### 6.5 Abscheidegrade gegenüber $^{131}\text{J}$ in Form von elementarem Jod in Abhängigkeit von der Beladung

In Abluftfiltern von Wiederaufarbeitungsanlagen sollten hohe spezifische Beladungen der Jod-Adsorber zulässig sein. Daher wurde die Abhängigkeit der Abscheidegrade von der spezifischen  $\text{J}_2$ -Beladung (berechnet auf 10 cm Bett-Tiefe) in einem Luft- $\text{NO}_2$ -Gemisch bestimmt. Das Trägergas wurde mit  $\text{NO}_2$  vermischt, auf einen Taupunkt von  $30^\circ\text{C}$  eingestellt und die Abscheidegrade für verschiedene Testbett-Tiefen bei  $80^\circ\text{C}$  gemessen. Bei dieser Temperatur wird die Kondensation von  $\text{HNO}_3$  (aus Feuchtluft und  $\text{NO}_2$ ) weitgehend vermieden.

Um den Einfluß von Stickoxiden beurteilen zu können, wurden Parallelversuche ohne  $\text{NO}_2$  durchgeführt. Dabei wurden 70 % relative Feuchte und  $30^\circ\text{C}$  als Prüfbedingungen gewählt.

Zur Abschätzung des Temperatureinflusses wird in Tabelle 26 zusätzlich ein Abscheideversuch mit  $80^\circ\text{C}$  Testbett-Temperatur ohne  $\text{NO}_2$  angeführt.

Aus Tabelle 27 und Tabelle 28 ist zu entnehmen, daß für 10 cm Testbett-Tiefe Veränderungen der spezifischen Beladung mit elementarem Jod im untersuchten Bereich sowohl in  $\text{NO}_2$ -freier als auch  $\text{NO}_2$ -haltiger Feuchtluft keinen Einfluß auf den Abscheidegrad haben. Bei  $30^\circ\text{C}$  und 70 % r.F. wurden bei  $\text{J}_2$ -Beladungen zwischen 80 und 9 400  $\mu\text{g/g}$  Adsorber Abscheidegrade  $> 99,99\%$  gemessen. Bei  $80^\circ\text{C}$  Testbett-Temperatur und einem Taupunkt von  $30^\circ\text{C}$  ergab sich ein Abscheidegrad  $> 99,999\%$ . In  $\text{NO}_2$ -haltiger Atmosphäre sinkt der Abscheidegrad für 10 cm Bett-Tiefe und ca. 7,5 g Ag/100 g Katalysatorträger unter sonst gleichen Bedingungen auf Werte zwischen 99,0 und 99,9 %.

Tab. 27: Beladungsabhängigkeit der Abscheidegrade gegenüber  $^{131}\text{I}$  in Form von elementarem Jod in  $\text{NO}_2$ -haltiger Feuchtluft

Trägergas: Feuchtluft + 10 %  $\text{NO}_2$ , Taupunkt  $30^\circ \text{C}$ ,  
Temperatur im Adsorberbett:  $80^\circ \text{C}$

Vorbefeuchtung (nur Trägergas):  $\geq 20 \text{ h}$

Beaufschlagung (Prüfmedium + Trägergas): Die Hauptmenge  
des Radiojodes wurde in ca. 2 h eingeleitet

Nachströmzeit (nur Trägergas):  $\geq 10 \text{ h}$

Prüfmedium: Elementares Jod, Mischung von  $\geq 25 \mu\text{Ci } ^{131}\text{I}$   
und inaktivem Jod

$\text{AgNO}_3$ -Imprägnierung:  $7,5 \pm 1 \text{ g Ag/100 g KTC}$

Trägerbeladung $\mu\text{g J}_2/\text{g Adsorber}$	Abscheidegrade in %			
	Bett-Tiefe in cm			
	2,5	5,0	7,5	10,0
	Verweilzeit in s			
	0,1	0,2	0,3	0,4
1 700 *	99,24	99,966	99,9985	99,99947
4 500	83,1	96,8	98,9	99,03
7 200	58,4	91,2	99,55	99,87
9 900	61,0	92,8	98,4	99,44
26 200	46,4	80,9	98,1	99,87
28 000	47,8	82,1	97,1	99,88

\* ohne  $\text{NO}_2$

Tab. 28: Abscheidegrade für  $^{131}\text{J}$  in Form von elementarem Jod in Feuchtluft in Abhängigkeit von der Beladung

Trägergas: Feuchtluft 70 % r.F. Testbett-Temperatur  $30^{\circ}\text{C}$

Vorbefeuchtung (nur Trägergas):  $\geq 26\text{ h}$

Beaufschlagung (Prüfmedium + Trägergas): Die Hauptmenge des Radiojodes wurde in ca. 1 h eingeleitet

Nachströmzeit (nur Trägergas):  $\geq 20\text{ h}$

Prüfmedium: Elementares Jod, Mischung aus  $\geq 10\ \mu\text{Ci } ^{131}\text{J}$  und inaktivem  $^{127}\text{J}$

$\text{AgNO}_3$ -Imprägnierung:  $7,5 \pm 1\text{ g Ag}/100\text{ g KTC}$

Trägerbeladung $\mu\text{g J}_2/\text{g Adsorber}$	Abscheidegrade in %			
	Bett-Tiefe in cm			
	2,5	5,0	7,5	10,0
	Verweilzeit in s			
	0,1	0,2	0,3	0,4
80	99,88	99,971	99,987	99,9906
680	99,920	99,979	99,989	99,9921
860	99,959	99,984	99,989	99,9908
1 000	99,953	99,986	99,9923	99,9939
2 600	99,83	99,984	99,988	99,9900
9 400	97,6	99,975	99,983	99,986

### 6.6 Einfluss der Temperatur auf den Abscheidegrad für $^{13}\text{C}$ in Form von $\text{CH}_3^{13}\text{C}$

In Wiederaufarbeitungsanlagen ist nach den  $\text{NO}_2$ -Wäschern mit Abgasen hoher Luftfeuchte zu rechnen. Es muß daher das Abgas erhitzt werden, um die relative Luftfeuchte zu senken. Der Einfluß der Temperatur auf die Wirksamkeit von  $\text{AgNO}_3$ -imprägnierten Katalysatorträgern wurde bestimmt (Tab. 29).

Während der Übergang von  $80^\circ\text{C}$  auf  $125^\circ\text{C}$  für alle Bett-Tiefen zu einer Verbesserung der Abscheidegrade des  $\text{AgNO}_3$ -imprägnierten Katalysatorträgers führt, wird zwischen  $125^\circ\text{C}$  und  $175^\circ\text{C}$  ein weitgehend konstanter Abscheidegrad erreicht. Eine Temperaturerhöhung auf  $200^\circ\text{C}$  führt nach ersten Versuchen zu einer weiteren Verbesserung des Abscheidegrades. Dies kann als Folge der bei  $160^\circ\text{C}$  einsetzenden Phasenumwandlung des  $\text{AgNO}_3$  von der orthorhombischen zur trigonalen Kristallform angesehen werden. Eine genauere Überprüfung wird zur Zeit durchgeführt.

### 6.7 Alterung eines $\text{AgNO}_3$ -imprägnierten Katalysatorträgers in $\text{NO}_2$

In Wiederaufarbeitungsanlagen eingesetzte  $\text{AgNO}_3$ -imprägnierte Katalysatorträger müssen auch nach wochenlangem Kontakt mit  $\text{NO}_2$  ihre volle Wirksamkeit beibehalten. Diese  $\text{NO}_2$ -Beständigkeit ist bei Aktivkohle nicht gegeben und Ag-Zeolithe quellen nach kurzer Kontaktzeit mit  $\text{NO}_2$ -haltiger Feuchtluft zu gelartigen Massen auf; sie verlieren daher ihre Abscheideeigenschaften gegenüber Spaltjod.

Imprägnierte Katalysatorträger wurden zur Prüfung des Zeitstandverhaltens in einem geschlossenen Gefäß über rauchender Salpetersäure sechs Wochen lang aufbewahrt. Gealterte und frische Katalysatorträger wurden dann bei  $80^\circ\text{C}$  in einem Luft/ $\text{NO}_2$ -Gemisch (Taupunkt  $30^\circ\text{C}$ , 10 %  $\text{NO}_2$ ) mit  $\text{CH}_3^{13}\text{C}$  beaufschlagt und die Abscheidegrade verglichen (Tab. 30). Der gealterte Adsorber weist praktisch gleiche Abscheideeigenschaften auf wie der frisch eingesetzte. Der Unterschied für 7,5 und 10,0 cm Bett-Tiefe wird auf unvollständige Desorption der bei der Alterung aufgenommenen Stickoxide und  $\text{HNO}_3$  in den hinteren Testbetten während der Vorströmzeit zurückgeführt.

Tab. 29: Einfluß der Temperatur auf den Abscheidegrad gegenüber  $^{131}\text{J}$  in Form von  $\text{CH}_3^{131}\text{J}$

Trägergas: Feuchtluft + 10 %  $\text{NO}_2$  (Taupunkt  $30^\circ \text{C}$ )

Vorbefeuchtung (nur Trägergas):  $\geq 22 \text{ h}$

Beaufschlagung (Prüfmedium + Trägergas): 1 h

Nachströmzeit (nur Trägergas):  $\geq 19 \text{ h}$

Prüfmedium:  $1,0 \pm 0,5 \text{ mg CH}_3^{127}\text{J/g KTB}$ , vermischt mit  $\geq 4 \mu\text{Ci CH}_3^{131}\text{J/g KTB}$  (berechnet für 10 cm Bett-Tiefe)

$\text{AgNO}_3$ -Imprägnierung: 7,5 g  $\text{Ag}/100 \text{ g KTB}$

Testbett-Temperatur in $^\circ\text{C}$	Abscheidegrade in %			
	Bett-Tiefe in cm			
	2,5	5,0	7,5	10,0
	Verweilzeit in s			
	0,1	0,2	0,3	0,4
80 *	99,16	99,99953	99,999964	99,99997**
80	88,3	98,2	99,49	99,90
125	90,3	99,57	99,952	99,9907
125	88,5	99,43	99,963	99,990
150	86,5	98,9	99,957	99,9935
175	95,0	99,67	99,931	99,971
200	95,2	99,9905	99,9964	99,9970

\* ohne  $\text{NO}_2$

\*\* Meßgrenze

Tab. 30: Einfluß der Alterung in NO<sub>2</sub>-Atmosphäre auf den Abscheidegrad gegenüber <sup>131</sup>I in Form von CH<sub>3</sub><sup>131</sup>I

Trägergas: Feuchtluft + NO<sub>2</sub> (Taupunkt 30° C)

Testbett-Temperatur: 80° C

Vorströmzeit (nur Trägergas): ≥ 20 h

Beaufschlagung (Prüfmedium + Trägergas): ca. 1 h

Nachströmzeit (nur Trägergas): ≥ 20 h

Prüfmedium: 1,5 ± 0,5 mg CH<sub>3</sub><sup>127</sup>I/g KTC, vermischt mit  
 ≥ 4 µCi CH<sub>3</sub><sup>131</sup>I/g KTC (berechnet für 10 cm  
 Bett-Tiefe)

AgNO<sub>3</sub>-Imprägnierung: 8 g Ag/100 g KTC

	Abscheidegrade in %			
	Bett-Tiefe in cm			
	2,5	5,0	7,5	10,0
	Verweilzeit in s			
	0,1	0,2	0,3	0,4
Vergleichswerte ohne NO <sub>2</sub>	96,1	99,9985	99,99969	99,99980
Frischer KTC	89,8	98,7	99,66	99,960
über HNO <sub>3</sub> rauchgealterter KTC	90,8	98,7	99,43	99,77

### 6.8 Einfluss von Heissdampf auf den Abscheidegrad

Da beim Unfall mit Kühlmittelaustritt eines wassergekühlten Reaktors mit großen Dampfmengen innerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters zu rechnen ist, muß der Spaltjodadsorber in einem GAU-Umluft-Filter gegenüber Dampf weitgehend unempfindlich sein.

Es wurde Heißdampf über Filter-Betten aus  $\text{AgNO}_3$ -imprägniertem Katalysatorträger geleitet. Die Ergebnisse von drei Experimenten sind in Tabelle 31 wiedergegeben. Die Versuche wurden mit Materialien unterschiedlicher  $\text{AgNO}_3$ -Imprägnierung bei  $110^\circ\text{C}$  und  $150^\circ\text{C}$  durchgeführt.

Die Abscheidegrade lassen bei der gewählten Versuchsdauer keine Veränderung des Katalysatorträgers durch Heißdampf erkennen. Weitere Versuche mit Heißdampf und Sattdampf unter Druck sind in Vorbereitung.

Tab. 31: Abscheidegrade für  $^{131}\text{J}$  in Form von  $\text{CH}_3^{131}\text{J}$  in Heißdampf

Trägergas: Heißdampf

Vorbefeuchtung (nur Trägergas):  $\geq 22$  h

Beaufschlagung (Prüfmedium + Trägergas): ca. 1 h

Nachströmzeit (nur Trägergas):  $\geq 15$  h

Prüfmedium:  $1,5 \pm 0,5$  mg  $\text{CH}_3^{131}\text{J/g}$  KTC, vermischt mit  $\geq 6$   $\mu\text{Ci}$   $\text{CH}_3^{131}\text{J/g}$  KTC (berechnet für 10 cm Bett-Tiefe)

Testbett-Temperatur in $^\circ\text{C}$	Imprägnierung g Ag/100 g Adsorber	Abscheidegrade in %			
		Bett-Tiefe in cm			
		2,5	5,0	7,5	10,0
		Verweilzeit in s			
		0,1	0,2	0,3	0,4
110	10,7	71,2	99,84	99,9982	99,9984*
150	7,8	75,6	99,62	99,9970	99,9990
150	3,2	57,6	96,4	99,88	99,9986

\*Meßgrenze

### 6.9 Desorption von $^{131}\text{J}$ von verschiedenen Adsorbentien bei höheren Temperaturen

Nach einem Reaktorstörfall können Temperaturen bis etwa  $150^{\circ}\text{C}$  im Reaktorsicherheitsbehälter erreicht werden. Die zusätzliche Erwärmung durch abgeschiedenes Spaltjod und andere Spaltprodukte kann zur starken Erhitzung des Adsorbentens eines GAU-Umluftfilters führen. Für diesen Fall muß von einem Spaltjodadsorbent erwartet werden können, daß bereits abgeschiedenes Spaltjod trotz hoher Temperaturen nicht wieder an die Umgebung abgegeben wird.

Das Desorptionsverhalten der Adsorbentmaterialien wurde geprüft. Dazu wurde ein 10 cm tiefes Filterbett in einem Rohröfen auf die gewünschte Temperatur gebracht und die durchgesaugte Raumluft in einem beheizten Rohrsystem auf diese Temperatur vorgeheizt. Nachdem die Versuchsanordnung im Gleichgewicht war, wurde auf das Adsorbentbett ein Gemisch von  $\text{CH}_3^{127}\text{J}$  und  $\text{CH}_3^{131}\text{J}$  geleitet. Das durchgebrochene  $\text{CH}_3^{127}\text{J}$  und  $\text{CH}_3^{131}\text{J}$  wurde in Aktivkohlebetten aufgefangen und die Durchlässigkeit für das Adsorbentbett unter den Versuchsbedingungen aus durchgebrochener  $^{131}\text{J}$ -Aktivität und insgesamt beaufschlagter  $^{131}\text{J}$ -Aktivität errechnet. Das desorbierende  $^{131}\text{J}$  erhöhte die durch das Filter insgesamt gebrochene  $^{131}\text{J}$ -Aktivität und damit die Durchlässigkeit des Filters (Durchlässigkeit ausgedrückt in % der beaufschlagten Aktivität). Die Durchlässigkeit errechnet sich daher aus dem während der Einleitung durchgebrochenen  $^{131}\text{J}$  und dem bis zum betrachteten Zeitpunkt desorbierten  $^{131}\text{J}$ . Sie ist ein Maß für die Desorptionseigenschaften des Adsorbentens. Geprüft wurden die Aktivkohle der Fa. Norit RKJ-I bei  $150^{\circ}\text{C}$  und  $200^{\circ}\text{C}$  und die  $\text{AgNO}_3$ -imprägnierten Katalysatorträger KTB und KTC bei  $300^{\circ}\text{C}$ .

Abbildung 54 zeigt die Meßergebnisse. Während bei Verwendung von RKJ-I und einer Temperatur von  $150^{\circ}\text{C}$  erst nach 18 Tagen eine Durchlässigkeit von 10 % überschritten wird, erreicht man diesen Wert bei  $200^{\circ}\text{C}$  bereits nach 24 Stunden.

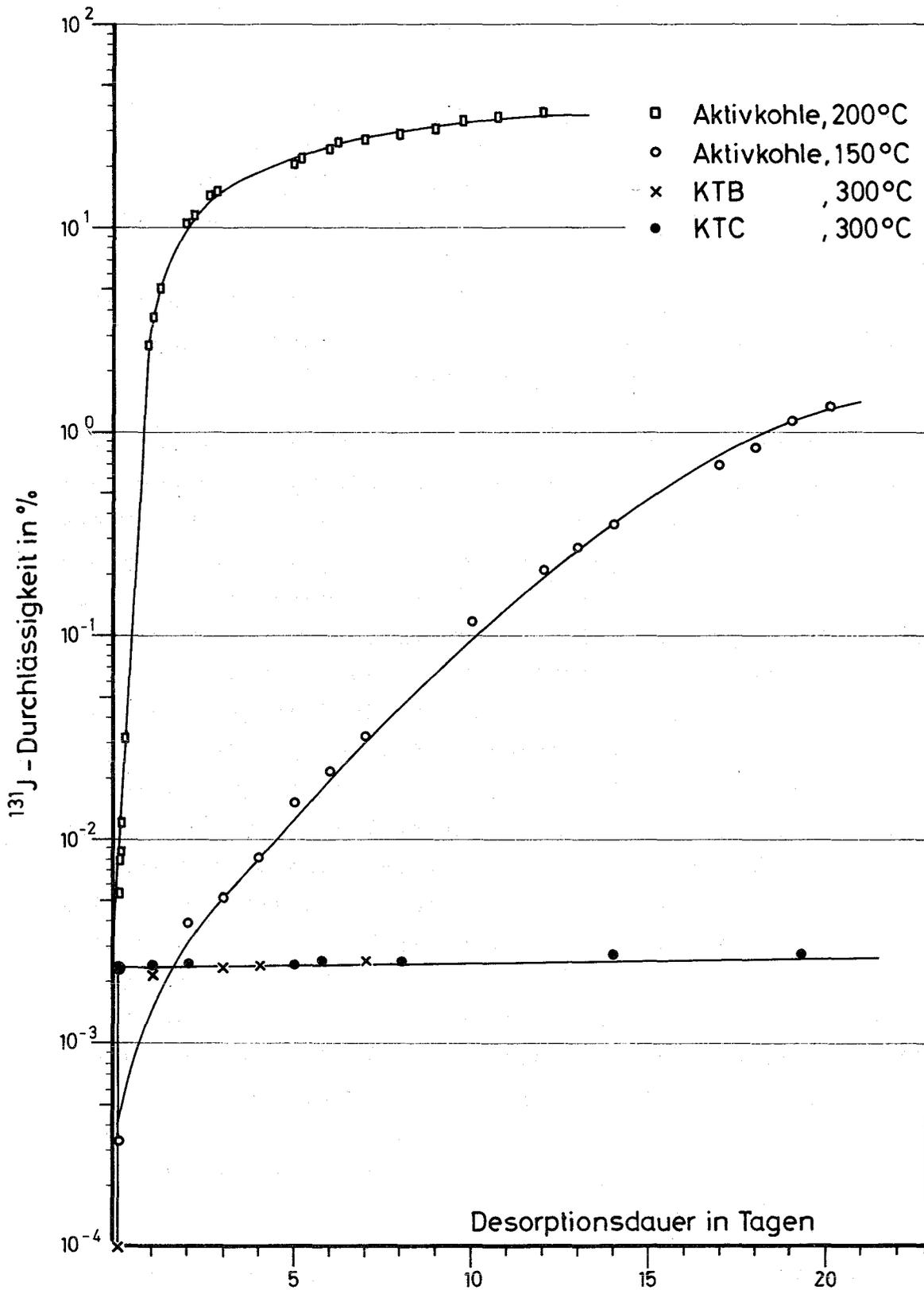


Abb. 54  $^{131}\text{J}$  - Desorption verschiedener Adsorber bei höheren Temperaturen.

Das  $^{131}\text{J}$  aus dem  $\text{CH}_3^{131}\text{J}$  wurde bei der Abscheidung durch Isotopenaustausch in Form von  $\text{K}^{131}\text{J}$  an die Kohle gebunden (KJ-Imprägnierung der Aktivkohle). Eine nachfolgende Oxydation des  $\text{K}^{131}\text{J}$  zum elementarem Jod wird angenommen; das Jod desorbiert dann bei den Prüfbedingungen im angegebenen Ausmaß.

Die Katalysatorträger KTB und KTC wurden bei  $300^\circ\text{C}$  geprüft. Beide Typen zeigen gleiche Ergebnisse, eine Desorption von  $^{131}\text{J}$  ist auch nach 20 Tagen Versuchsdauer nicht feststellbar.

#### 6.10 Alterung von Spaltjod-Adsorbermaterialien

An Jodfilteranlagen, die laufend mit Abluft beaufschlagt werden, wurde eine starke Alterung (Vergiftung und Verwitterung) der eingesetzten Aktivkohlen festgestellt.

Die bei vor Ort-Prüfungen und in Laborversuchen am Original-Adsorbermaterial ermittelten Werte sind in den Tabellen 32 und 33 wiedergegeben.

Die Laborversuche wurden unter simulierten GAU-Bedingungen durchgeführt. Als Prüfmedium wurde bei den vor Ort-Prüfungen und Laborversuchen radioaktiv markiertes Methyljodid benutzt. Einige Laborversuche wurden außerdem mit radioaktiv markiertem elementarem Jod durchgeführt. Mit Laborluft über längere Zeit zur Alterung beaufschlagte Proben von Adsorbermaterial zeigten ebenfalls ein starkes Absinken des Abscheidegrades mit der Anzahl der Luftwechsel (6).

Tab. 32: Alterung von Spaltjodfiltern bei kontinuierlichem Betrieb eines Abluftfilters, vor Ort-Prüfungen

Prüfmedium: ca. 150 - 200 mCi  $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ , vermischt mit  $\text{CH}_3^{127}\text{J}$  als Träger

Beaufschlagung mit Prüfmedium: 15 - 20 min

Jodfilter-Zuluft: Temperatur 14 - 28<sup>0</sup> C, r.F. 14 - 60 %, Druck  $\leq$  200 mmWS Unterdruck; Durchsatz 12 500 bzw. 10 500 m<sup>3</sup>/h; Verweilzeit 0,33 bzw. 0,4 s (Werte von jeweiligen Witterungs- und Betriebsbedingungen abhängig).

Prüfdauer: 6 - 10 h

Jodfilteranlage aufgebaut aus 2 aufeinanderfolgenden Filterbänken mit jeweils 5 cm Bett-Tiefe.

Filterbank	Kohletyp	Betriebsdauer Monate	Abscheidegrade %
1	HSA 1565	0	99,96
1	HSA 1565	4	55,7
1	RKJ-I	0	99,92
2	HSA 1565	0	(99,4) <sup>1,2)</sup>
2	HSA 1565	4	99,90
2	HSA 1565	10	92,4
1+2	HSA 1565	0	$\geq$ 99,9997 <sup>1)</sup>
1+2	HSA 1565	4	99,96

1. Filterbank nach 10 Monaten Betrieb erneuert (mit RKJ-I), anschließend vor Ort-Prüfung:

1+2 (RKJ-I neu, HSA 1565 10 Monate gealtert) 99,994

- 1) Nachweisgrenze hinter 2. Filterbank erreicht (Beaufschlagung mit Prüfmedium nur vor 1. Filterbank möglich).
- 2) Für eine Betrachtung der Alterung sollte hier auch von dem oben angegebenen Wert von 99,96 % Abscheidegrad für die neue Filterbank ausgegangen werden.

Tab. 33: Alterung von Spaltjod-Adsorbermaterial bei kontinuierlichem Betrieb eines Abluftfilters, Laborversuche

Aktivkohle: Proben aus den Originalfiltern oder Alterungsproben aus Bypass-Strecken zum Originalfilter  
 Trägergas (während der Laborprüfung): Laborluft, gefiltert durch Schwebstoff-Filter der Sonderklasse S, 1 at, 43° C, r.F. 71 %, Verweilzeit pro 5 cm Adsorberbett: 0,17 bzw. 0,2 s (entsprechend dem Durchsatz beim Originalfilter, simulierte GAU-Bedingungen)

Prüfmedium: CH<sub>3</sub><sup>131</sup>J + CH<sub>3</sub><sup>127</sup>J, Beladung 40 - 160 µg Methyljodid/g Aktivkohle; <sup>127</sup>J<sub>2</sub>, markiert mit <sup>131</sup>J, Beladung 320 bzw. 280 µg Jod/g Aktivkohle (berechnet für 5 cm Bett-Tiefe)

Vorbefeuchtung (nur Trägergas): ≥ 20 h

Beaufschlagung (Trägergas + Prüfmedium): 1 h

Nachströmzeit (nur Trägergas): ≥ 20 h

Filterbank	Kohletyp	Betriebsdauer Monate	Abscheidegrade in % <sup>+</sup> )	
			<sup>131</sup> J beaufschlagt in Form von:	
			Methyljodid	elementarem Jod
1	HSA 1565	0	98,8	
1	HSA 1565	6	26,0	
1	RKJ-I	0	98,1	99,99958
1	RKJ-I	5	77,4	99,983
2	HSA 1565	0	98,7	
2	HSA 1565	16	83,0	99,989

<sup>+</sup>) Für 5 cm Bett-Tiefe, entsprechend einer Filterbank.

In den Abbildungen 55 - 58 sind die Ergebnisse von Alterungsversuchen wiedergegeben, bei denen die Adsorbentmaterialien an einem in Aussicht genommenen Reaktorstandort mit der dort vorhandenen Industrieluft beaufschlagt wurden. Die anschließende Messung des Abscheidegrades im Labor wurde ebenfalls mit einem Gemisch von  $\text{CH}_3^{131}\text{J}$  +  $\text{CH}_3^{127}\text{J}$  als Prüfmedium unter Standard-Prüfbedingungen vorgenommen ( $30^\circ\text{C}$ , 100 % r.F. für Aktivkohle;  $30^\circ\text{C}$ , 70 % r.F. für Zeolithe; Adsorbentmaterial im Gleichgewicht mit der Luftfeuchte des Trägergasstromes; Beladung mit Prüfmedium im Normalfall ca.  $75\ \mu\text{g/g}$  Kohle bzw.  $1,5\ \text{mg/g}$  Zeolith, berechnet jeweils für 10 cm Bett-Tiefe).

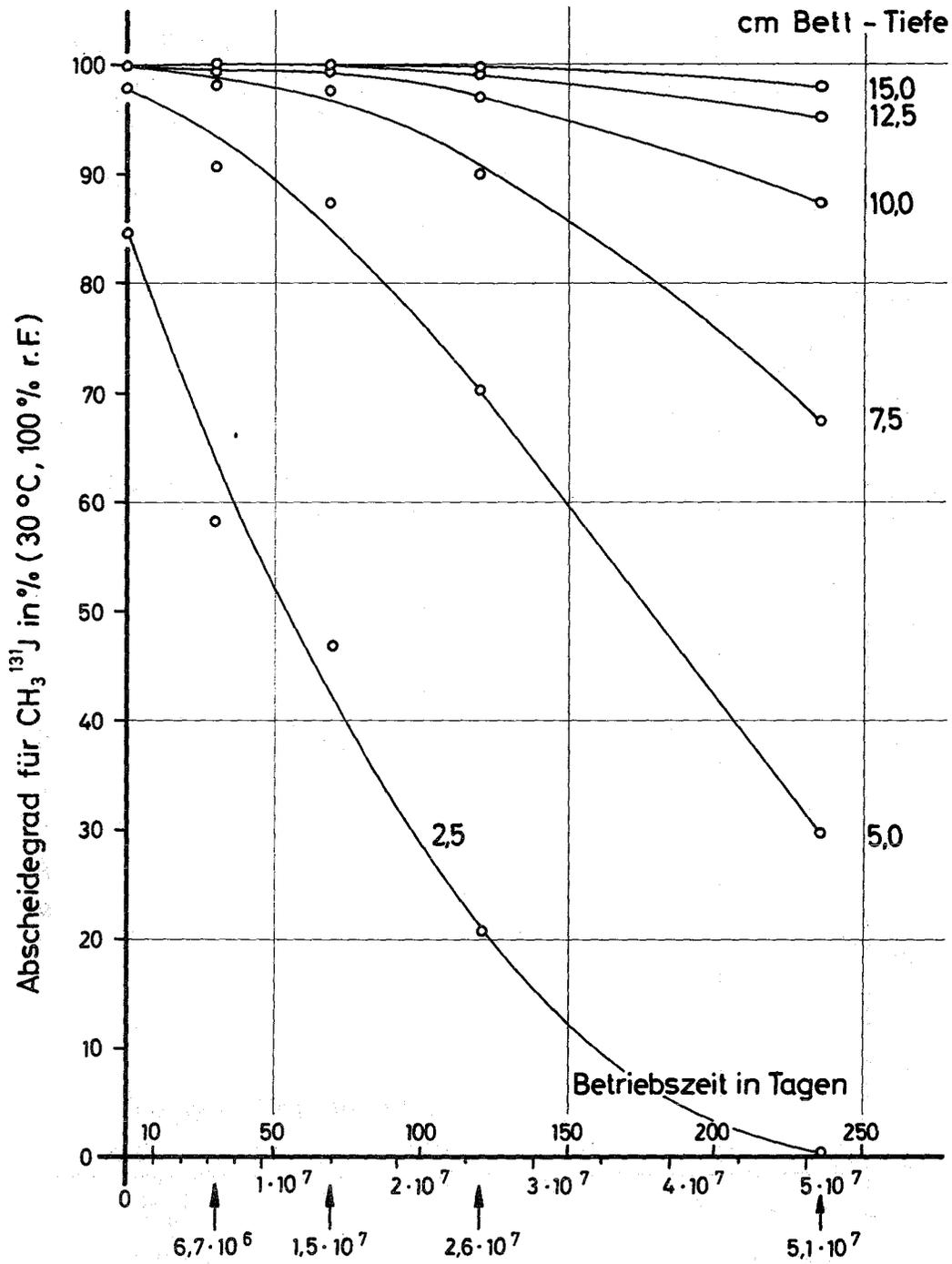
Die Versuche ergaben, daß die Vergiftung der Adsorbent durch Adsorption von Schadstoffen vorwiegend auf den ersten wenigen Zentimetern Bett-Tiefe erfolgt und nur langsam das folgende Adsorbentmaterial erfaßt (Tab. 34).

Tiefere Adsorbentbetten erreichen eine weitaus längere Standzeit als es dem höheren Einsatz an Adsorbentmaterial entspricht (Abb. 55). Zum Beispiel wird bei einer 5 cm tiefen Aktivkohleschicht ein Abscheidegrad von 90 % bereits nach 50 Tagen, bei einer 10 cm tiefen Aktivkohleschicht erst nach 200 Tagen unterschritten (Abscheidegrad für  $^{131}\text{J}$  in Form von  $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ , lineare Luftgeschwindigkeit während der Alterung  $25\ \text{cm/s}$ ).

Um befriedigend hohe Filterstandzeiten zu erreichen, bieten sich zwei Wege an:

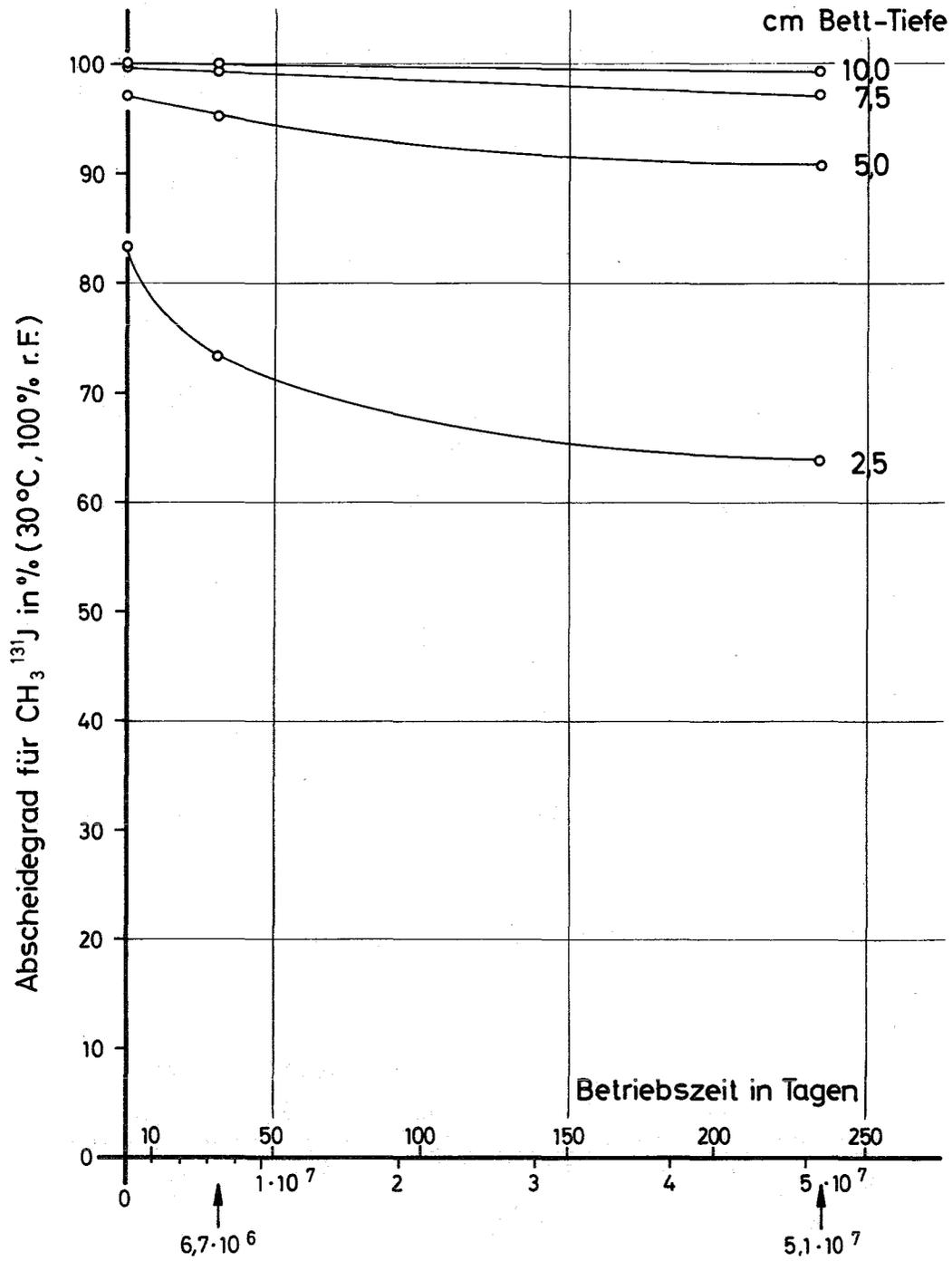
- Entsprechend tief dimensionierte Adsorbentbetten
- Einbau von Voradsorbentern, die die Schadstoffe aus der Zuluft der Spaltjodfilter entfernen.

Die Wirkung von 5 cm tiefen Voradsorbentern (Aktivkohle Norit RLX) ist einem Vergleich zwischen Abbildung 55 und 56 zu entnehmen. Bei 5 cm Bett-Tiefe des Spaltjodadsorbenters und vorgefilterter Luft lag unter sonst gleichen Bedingungen nach 240 Tagen Alterung der Abscheidegrad für radioaktives Methyljodid noch über 90 % (gegenüber 30 % ohne Voradsorbent).



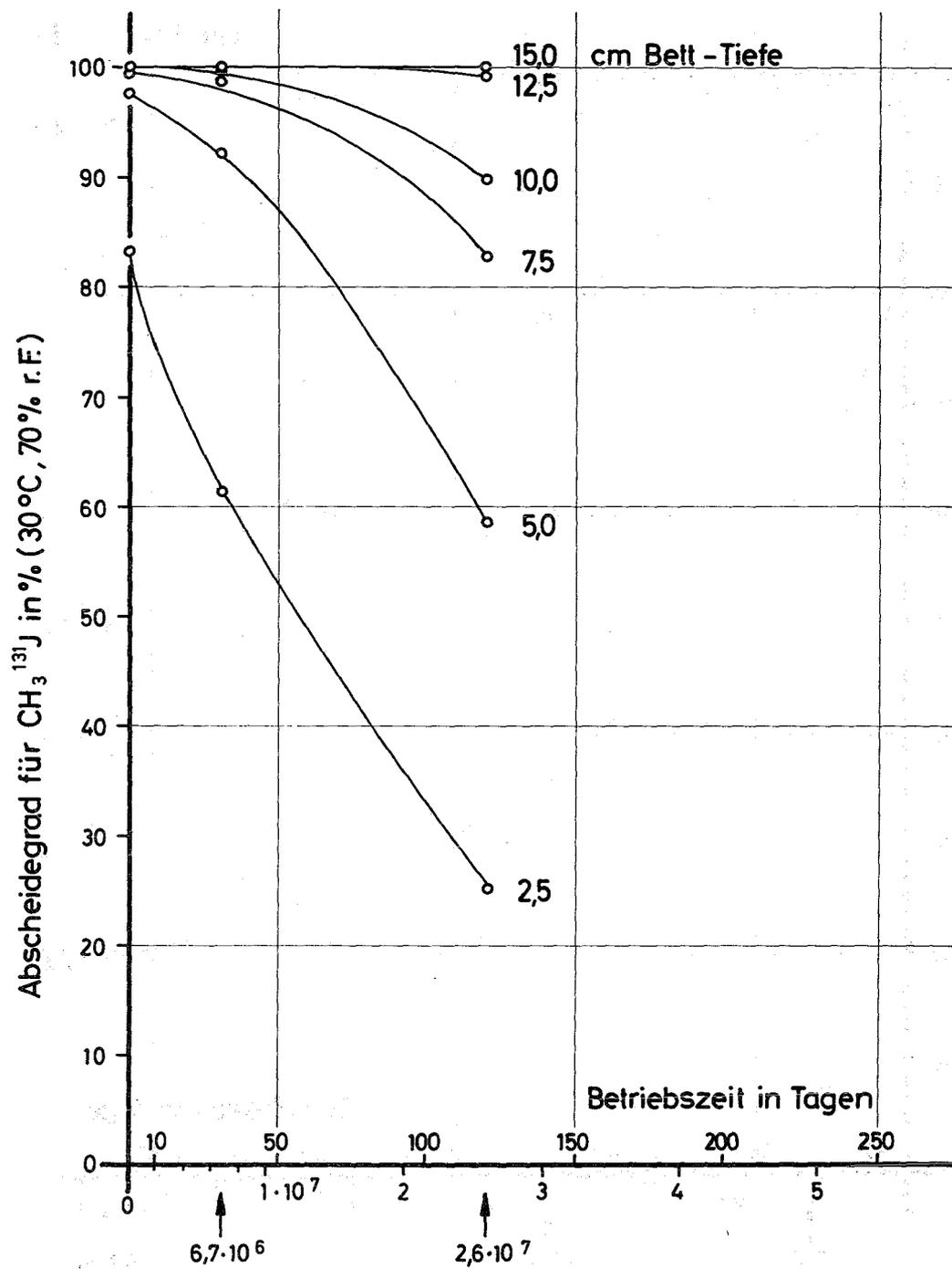
Anzahl der Luftwechsel berechnet für 10cm Adsorberbett-Tiefe

Abb. 55 Alterung von imprägnierter Aktivkohle (Norit RKJ-I) in Industrieluft.



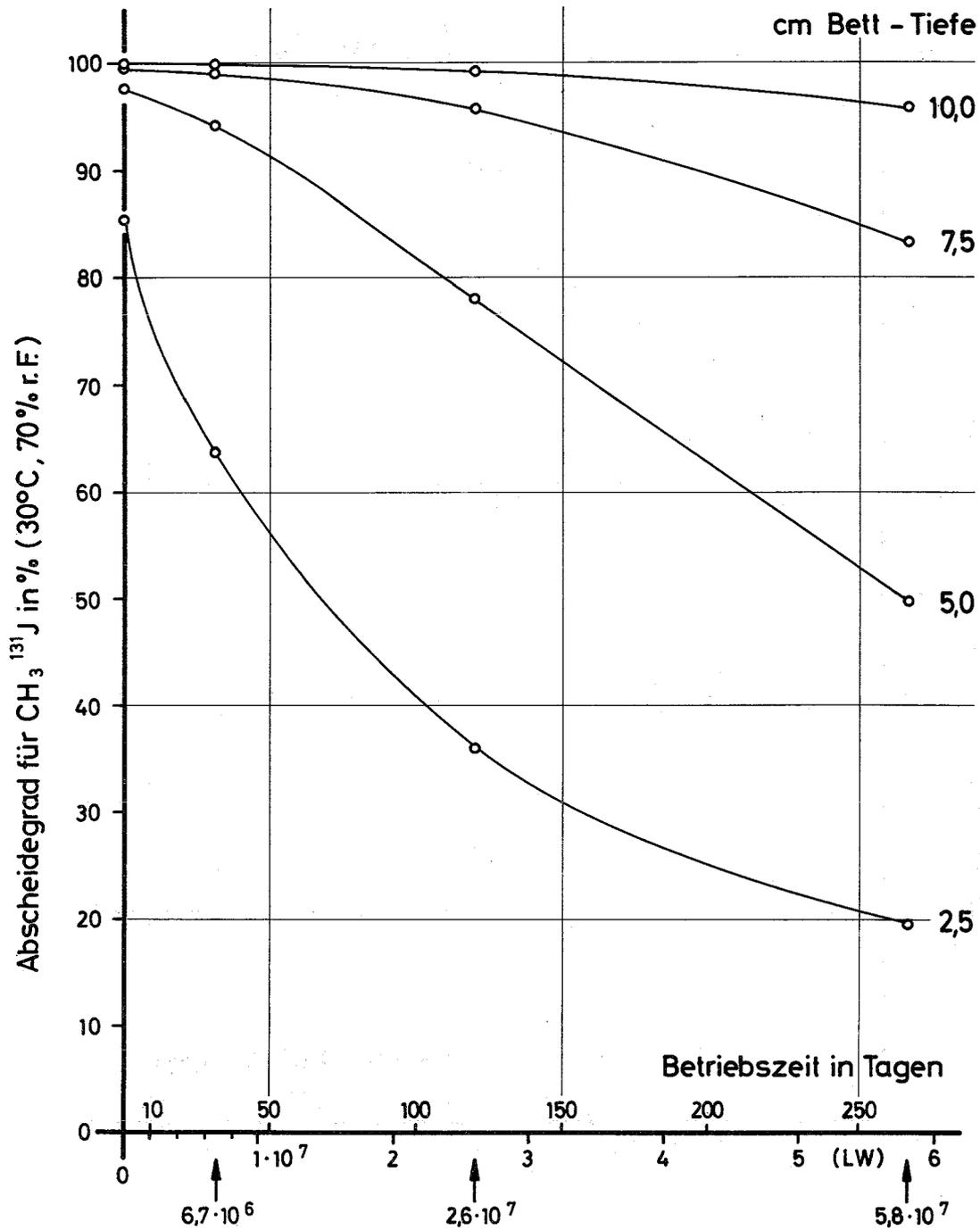
Anzahl der Luftwechsel berechnet für 10cm Adsorberbett-Tiefe

Abb. 56 Alterung von Norit RKJ -I in vorgefilterter Industrieluft.



Anzahl der Luftwechsel berechnet für 10cm Adsorberbett-Tiefe

Abb. 57 Alterung von LMS 13X - Ag in Industrieluft.



Anzahl der Luftwechsel berechnet für 10cm Adsorberbett-Tiefe

Abb. 58 Alterung von LMS 13 X - Ag in vorgefilterter Industrieluft.

Tab. 34: Alterung von KJ-imprägnierter Aktivkohle in Industrieluft

Aktivkohle: Norit RKJ-I in 4 aufeinanderfolgenden Testbetten von 2,5 cm Bett-Tiefe

Beaufschlagung während der Alterung: Industrieluft, gefiltert durch Schwebstoff-Filter der Sonderklasse S, r.F. < 100 %, Ansaugung auf dem Dach eines Kraftwerkes inmitten eines Komplexes chemischer Fabriken

Trägergas (während der Laborprüfung): Feuchtluft gefiltert, 100 % r.F., 30° C, Atmosphärendruck, lineare Luftgeschwindigkeit: 25 cm/s  $\hat{=}$  Verweilzeit von 0,1 s pro Testbett

Prüfmedium: CH<sub>3</sub><sup>131</sup>J + CH<sub>3</sub><sup>127</sup>J

Vorbefeuchtung (nur Trägergas):  $\geq$  20 h

Beaufschlagung (Prüfmedium + Trägergas): 1 h

Nachströmzeit (nur Trägergas): mehrere Stunden

Zahl der Luftwechsel pro Testbett	Betriebszeit (Alterung in Tagen) bei v = 25 cm/s	Differenzielle Abscheidegrade in %			
		Bett 1	Bett 2	Bett 3	Bett 4
0	0	83,2	84,4	84,8	83,4
2,7 · 10 <sup>7</sup>	30	58,4	77,9	80,4	84,3
6,0 · 10 <sup>7</sup>	70	46,6	76,5	81,6	82,4
1,0 · 10 <sup>8</sup>	120	20,5	62,8	66,4	69,3
2,0 · 10 <sup>8</sup>	240	0,5	29,2	54,2	61,3
Zahl der Luftwechsel (berechnet auf 10 cm Bett-Tiefe)	Betriebszeit (Alterung in Tagen) bei v = 25 cm/s	Integrale Abscheidegrade in %			
		Bett-Tiefe in cm			
		2,5	5,0	7,5	10,0
0	0	83,2	97,4	99,60	99,93
6,7 · 10 <sup>6</sup>	30	58,4	90,8	98,2	99,72
1,5 · 10 <sup>7</sup>	70	46,6	87,4	97,7	99,59
2,6 · 10 <sup>7</sup>	120	20,5	70,4	90,1	97,0
5,1 · 10 <sup>7</sup>	240	0,5	29,6	67,7	87,5

Da an die Aktivkohlefilter zur Vorreinigung der Filterzuluft geringere Anforderungen gestellt werden müssen als an die Spaltjodadsorber selbst, dürfte der Einbau und die Erneuerung von Voradsorbern (die außerdem eine nicht imprägnierte und daher preisgünstigere Kohle enthalten) für kontinuierlich betriebene Spaltjodfilter günstiger sein als die Erhöhung der Jodadsorber-Bettiefe. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß nach dem Auswechseln von Spaltjodadsorbern anschließend eine sehr aufwendige vor Ort-Prüfung vorgenommen werden muß, die beim Wechseln von Voradsorbern entfallen kann. In Abbildung 57 ist die Alterung von Ag-Zeolithen (LMS 13X-Ag) in der gleichen Industrieluft wiedergegeben. Abbildung 58 zeigt die Alterung des gleichen Materiales bei Vorfilterung der Industrieluft durch 5 cm tiefe Voradsorber, die Na-Zeolith (LMS 13X) enthalten. Ein Vergleich von Abbildung 57 und 58 zeigt, daß durch die Vorfilterung der Abluft mit relativ billigem, Ag-freiem Zeolith eine Verbesserung des Zeitstandverhaltens erreicht wird, die jedoch im Vergleich zu den Verhältnissen bei Aktivkohlen (Abb. 55 und Abb. 56) geringer ist.

#### 6.11 Atemfilter zur Abscheidung von Spaltjod

*K. Gerlach, J. Wilhelm*

Bei den meist außerordentlich kleinen Jodkonzentrationen infolge einer Kontamination in den Räumen einer kerntechnischen Anlage ist damit zu rechnen, daß ein erheblicher Anteil des gasförmigen Jodes in Form von organisch gebundenem Jod vorliegt. Während elementares Jod durch normale Aktivkohlefilter mit außerordentlich hohen Abscheidegraden zurückgehalten wird, ist dies für organische Jodverbindungen nicht ohne weiteres der Fall (J.G. Wilhelm, Nachweis des Abscheidegrades der MCA-Jodfilteranlage des KFS "Otto Hahn" (Laborversuche), Externer Bericht 20/68-4, Aug. 1968, Kernforschungszentrum Karlsruhe). Zur Abscheidung der organischen Jodverbindungen werden daher besonders imprägnierte Aktivkohlen eingesetzt.

In Tabelle 35 werden die Ergebnisse von Abscheidungsuntersuchungen mit radioaktiv markiertem Methyljodid wiedergegeben, die mit einem üblichen Atemfilter zur Abscheidung von sauren Gasen sowie Halogenen und Lösungsmitteldämpfen (ausgestattet mit Feinstaubfilter und Aktivkohlefüllung) erreicht wurden (Tabellenbezeichnung: Typ A0). Bei niedriger relativer Luftfeuchte (35 - 40 %) wurde auch nach langer Vorbefeuchtung noch ein guter Abscheidegrad erzielt (99,98 %), jedoch nicht bei hohen Luftfeuchten. Unter sonst gleichen Bedingungen wurde bei 95 - 100 % r.F. ein Abscheidegrad von nur 12,5 % gemessen. Bei relativ kurzer Beaufschlagung eines trockenen gelagerten Atemfilters mit Feuchtluft konnte ein besserer Abscheidegrad erreicht werden. Die Wasseraufnahme der Aktivkohle, die die Methyljodidadsorption behindert, ist ein relativ langsam verlaufender Vorgang (J.G. Wilhelm, Testing of Iodine Filters for Nuclear Installations; Treatment of Airborne Radioactive Wastes, New York, Aug. 1968, S. 403-416). So zeigte der als A0 bezeichnete Filtertyp bei Beaufschlagung mit Methyljodid in Feuchtluft, ohne vorausgehende Vorbefeuchtung, einen integralen Abscheidegrad von 94,4 %.

Auf unseren Wunsch wurden von verschiedenen Filterherstellern Atemfilter mit  $K^{127}J$ -imprägnierter Aktivkohle hergestellt (Tabellenbezeichnung: Typ AI, AII, AIII, DI). Die Versuche ergaben extrem hohe Abscheidegrade (> 99,999 %) in Luft mittlerer relativer Feuchte für kurze und lange Vorbefeuchtungszeiten und verschiedene spezifische Beladungen der Aktivkohle mit Methyljodid sowie gute Abscheidegrade (99,52 - 99,85 %) auch bei langer Vorbefeuchtung (20 - 24 h) mit Luft von 95 - 100 % r.F.. Die Versuchsreihe wird z. Z. noch fortgesetzt. Den experimentellen Daten ist jedoch bereits jetzt zu entnehmen, daß Atemfilter zur Spaltjodabscheidung aus Feuchtluft mit entsprechend imprägnierten Aktivkohlen ausgestattet werden sollten.

Tab. 35: Abscheidung von  $\text{CH}_3^{131}\text{J}$  in Atemfiltern

Trägergas: Laborluft, ungefiltert, Temperatur entsprechend Raumtemperatur (21 - 25<sup>o</sup> C), Druck  $\leq$  40 mmWS Unterdruck gegenüber Atmosphärendruck

Beaufschlagung der Atemfilter: Durch Einsatz einer Membran- oder Kolbenlunge. Hubvolumen 1,5 l, 20 Hübe/min, Luftdurchsatz: 30 l/min (entsprechend der mittleren Atemleistung eines erwachsenen Menschen)

Prüfmedium:  $\text{CH}_3^{131}\text{J}$  +  $\text{CH}_3^{127}\text{J}$ , Angabe der Beladung der Aktivkohle in  $\mu\text{g}$   $\text{CH}_3^{127}\text{J}$  bzw.  $\mu\text{Ci}$   $\text{CH}_3^{131}\text{J}$  pro g Kohle

Beaufschlagung mit Prüfmedium im Trägergas: 2 h

Nachströmzeit (nur Trägergas): 2 h

Filter- typ	Vorbe- feuchtung h	r. F. %	Beladung		Abschei- degrad %
			$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{Ci/g}$	
A0	20 - 24	35 - 40	100	1	99,98
A0	"	95 - 100	110	2	12,5
A0	0	"	120	1	94,4
AI	20 - 24	"	120	2	98,1
AI	"	"	130	3	98,6
AII	2	$\approx$ 45	40	7	99,99948
AII	38	44 - 52	150	6	99,99977
AII	20 - 24	95 - 100	80	1	99,955
AIII	"	"	130	2	99,63
AIII	"	"	140	6	99,67
AIII	"	"	140	2	99,52
DI	"	"	140	3	99,82
DI	"	"	140	3	99,86
DI	"	"	160	5	99,85

## 7. Theoretische Behandlung von Strahlenschutzfragen

Im Bereich Theorie der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit werden theoretische Untersuchungen von Strahlenschutz- und Sicherheitsproblemen durchgeführt, welche im allgemeinen aus anderen Bereichen der Abteilung bzw. aus anderen Instituten und Abteilungen herangetragen werden. Dazu zählen u. a. Berechnungen der Aktivität, Dosisleistung, Abschirmung, Kritikalität und Reaktorsicherheit. Die Programmbibliothek wurde im Berichtsjahr um meteorologische Auswertungs- sowie Abschirmprogramme erweitert. Im folgenden sind nur die wesentlichen dieser Arbeiten referiert.

### 7.1 Aktivitätsberechnungen

#### *7.1.1 Ausgangsdaten für die Inventarbeurteilung eines Brennelements nach einer Standzeit von 3 Jahren*

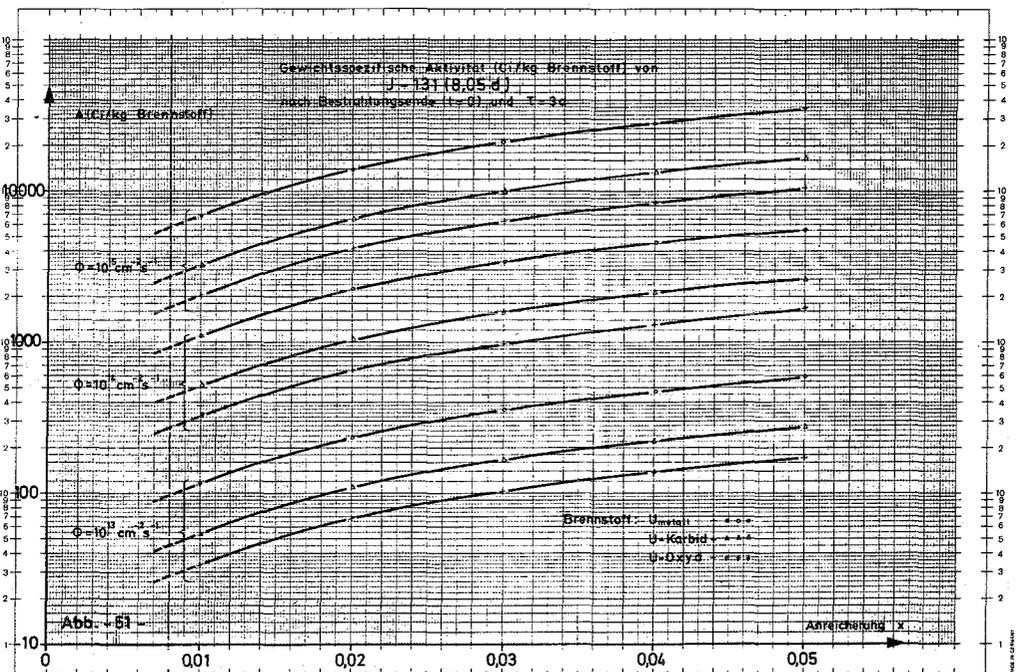
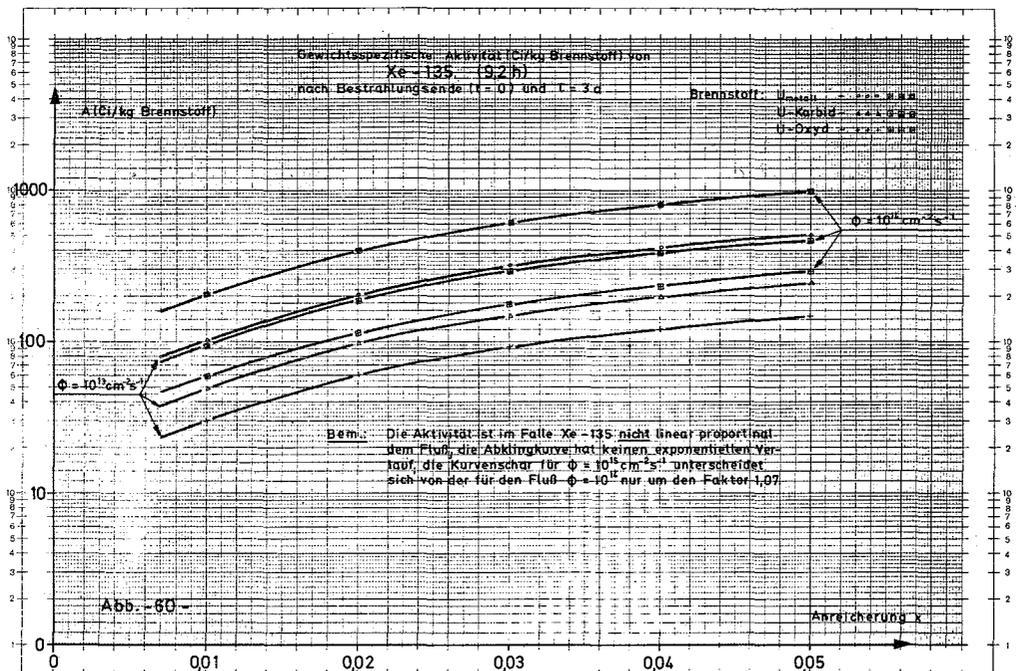
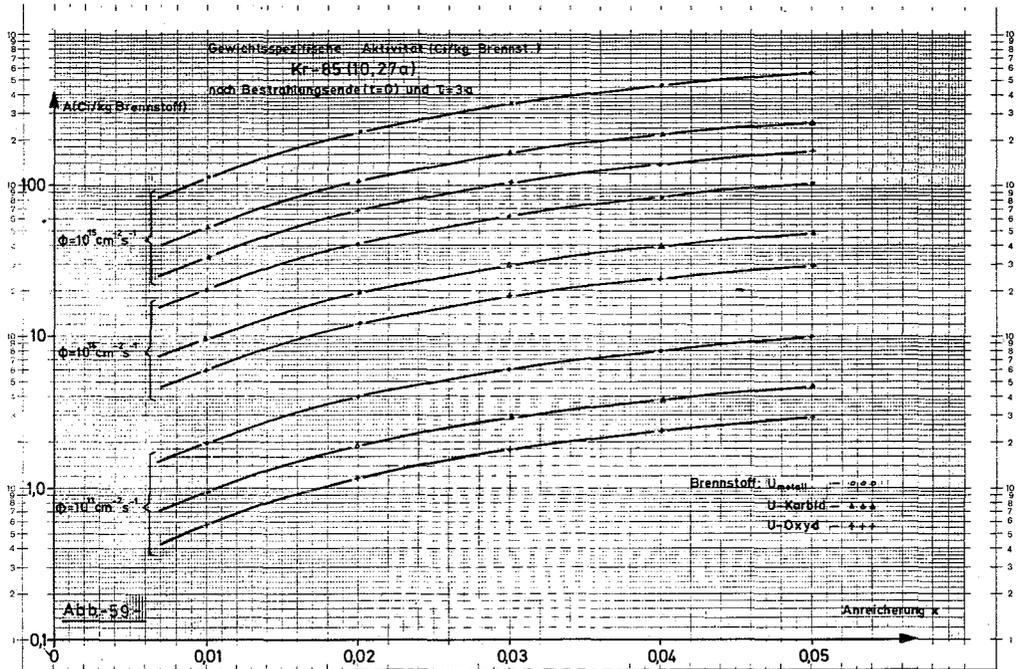
*W. Helm*

Es wurden graphische Unterlagen erstellt, aus denen für drei verschiedene Materialzusammensetzungen eines Brennelements -  $UO_2$ , UC und Uranmetall - in Abhängigkeit von der  $^{235}U$ -Anreicherung mit der mittleren thermischen Betriebsflußdichte als Parameter die spezifische Aktivität (Ci/kg ( $U_{met}$ , UC,  $UO_2$ )) folgender Spaltprodukte entnommen werden kann: Kr, J, Xe, Rb, Cs und Ba mit den jeweils wichtigsten Isotopen. Die Abbildungen 59 bis 61 zeigen die Kurven für Krypton-85, Xenon-135 und Jod-131.

#### *7.1.2 Aktivität von Spaltnukliden*

*W. Comper*

Um in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe die Spaltproduktfreisetzung bei einer kurzzeitigen Exkursion bzw. bei Verarbeitung von bestrahltem Brennstoff abschätzen zu können, wurde für fast alle Zerfallsketten (ca. 70 Nuklide) die Aktivität berechnet.



Im einzelnen wurden folgende Rechnungen durchgeführt:

- für eine kurzzeitige Exkursion mit einer Spaltausbeute von  $10^{10}$  Spaltungen (Spaltstoff  $^{235}\text{U}$  und  $^{239}\text{Pu}$ ) wurde die Aktivität der Spaltnuklide bestimmt,
- für eine kontinuierliche Bestrahlung von  $^{235}\text{U}$  bzw.  $^{239}\text{Pu}$  bis zu einem Abbrand von 20 000 MWd/t Brennstoff wurde die Aktivität der ca. 70 Nuklide bzw. die Masse der Nuklide in Gramm für Kühlzeiten von 150 d bis 1 800 d berechnet. Für jede Zerfallskette wurde auch die Masse des stabilen Nuklids bestimmt.

7.1.3 Die Spaltjodaktivität in einem Sicherheitsbehälter und die Filteraktivität beim Betrieb eines Umluft-Systems nach einem GAU

W. Helm

Zur Abschätzung der Wirksamkeit eines Umluft-Systems und der Beladung seiner Filter mit Spaltjod wurde das Niederschmelzen des Kerns eines  $2\,000\text{ MW}_{\text{th}}$ -Reaktors angenommen, dessen Sicherheitsbehälter ein Volumen von  $50\,000\text{ m}^3$  aufweist. Das Ergebnis wird durch folgende Annahmen beeinflusst (Abb. 62):

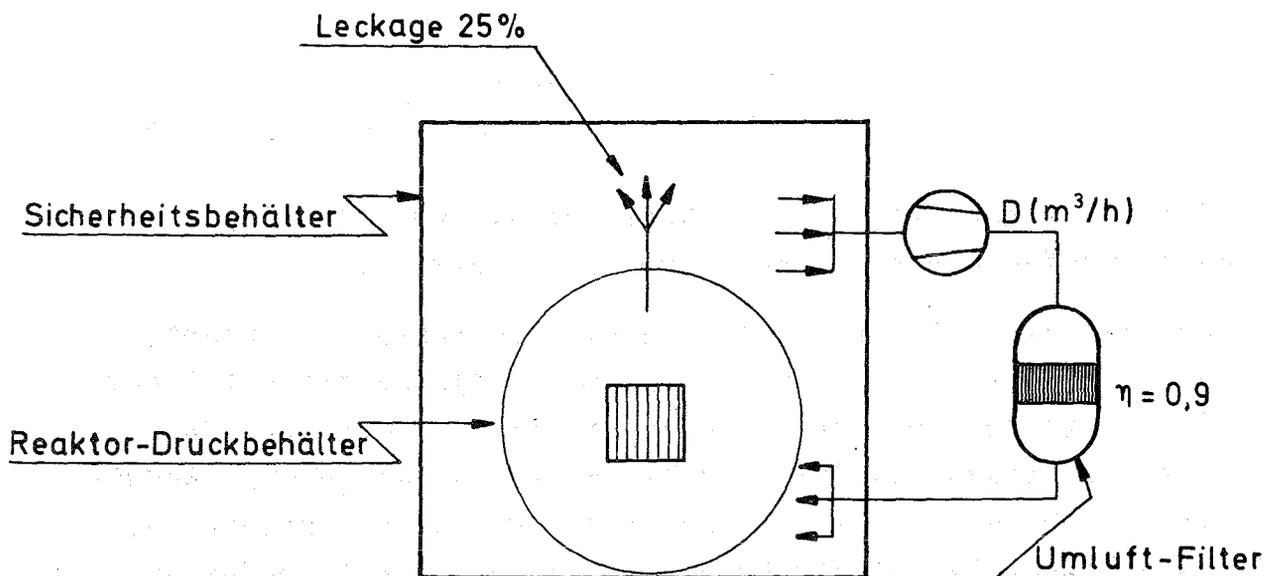
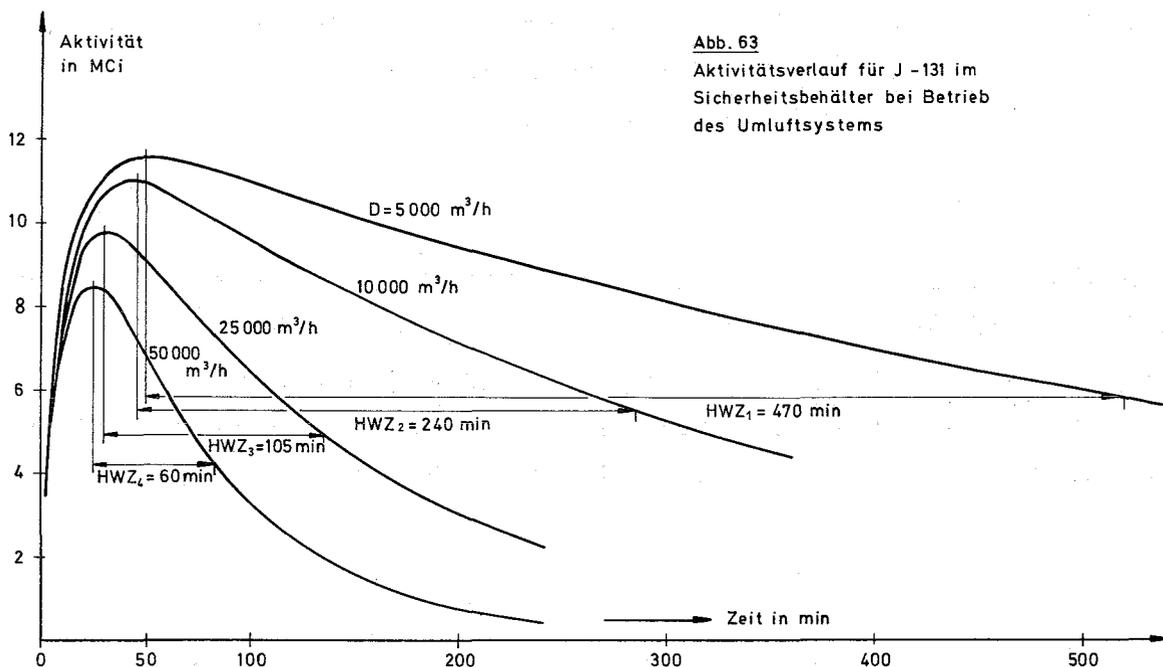


Abb. 62

Schema des Umluft-Filter-Systems

- dem Reaktordruckgefäß entweichen 25 % der Jodaktivität (5 % augenblicklich und 20 % gemäß einem exponentiellen Ausströmvorgang);
- die exponentiell verlaufende Leckage wird so festgesetzt, daß nach einer Stunde Ausströmens aus dem Core noch 1/100 der Anfangsaktivität in diesem verbleibt;
- das Umluft-Filter arbeitet bei jedem Durchsatz mit einem konstanten Abscheidewirkungsgrad  $\eta = 0,9$ .

Bei gleichmäßiger Verteilung der Aktivität im Containment erhält man einen zeitlichen Aktivitätsverlauf, wie er der Abbildung 63 entnommen werden kann.



Hierbei beschränkt sich die Betrachtung auf  $^{131}\text{J}$ . Als Parameter wurden 4 verschiedene Durchsätze gewählt.

Wenn man als Halbwertszeit diejenige Zeitdauer definiert, die das Umluft-System benötigt, um die Maximalaktivität auf die Hälfte zu reduzieren, so zeigt die Abbildung 63, daß eine Steigerung des Durchsatzes um den Faktor 10 eine Reduktion der Halbwertszeit um den Faktor 8 bewirkt. Dadurch wird die mögliche Aktivitätsabgabe nach außen schnell reduziert, andererseits wird jedoch auch die Spitzenbelastung der Filter durch Spaltprodukte erhöht. Für den größten angenommenen Durchsatz von  $D = 50\,000\text{ m}^3/\text{h}$  - d.h. ein Luftwechsel pro Stunde -, ist in Abbildung 64 die Konzentration im Containment in  $\text{Ci}/\text{m}^3$  aufgezeichnet.

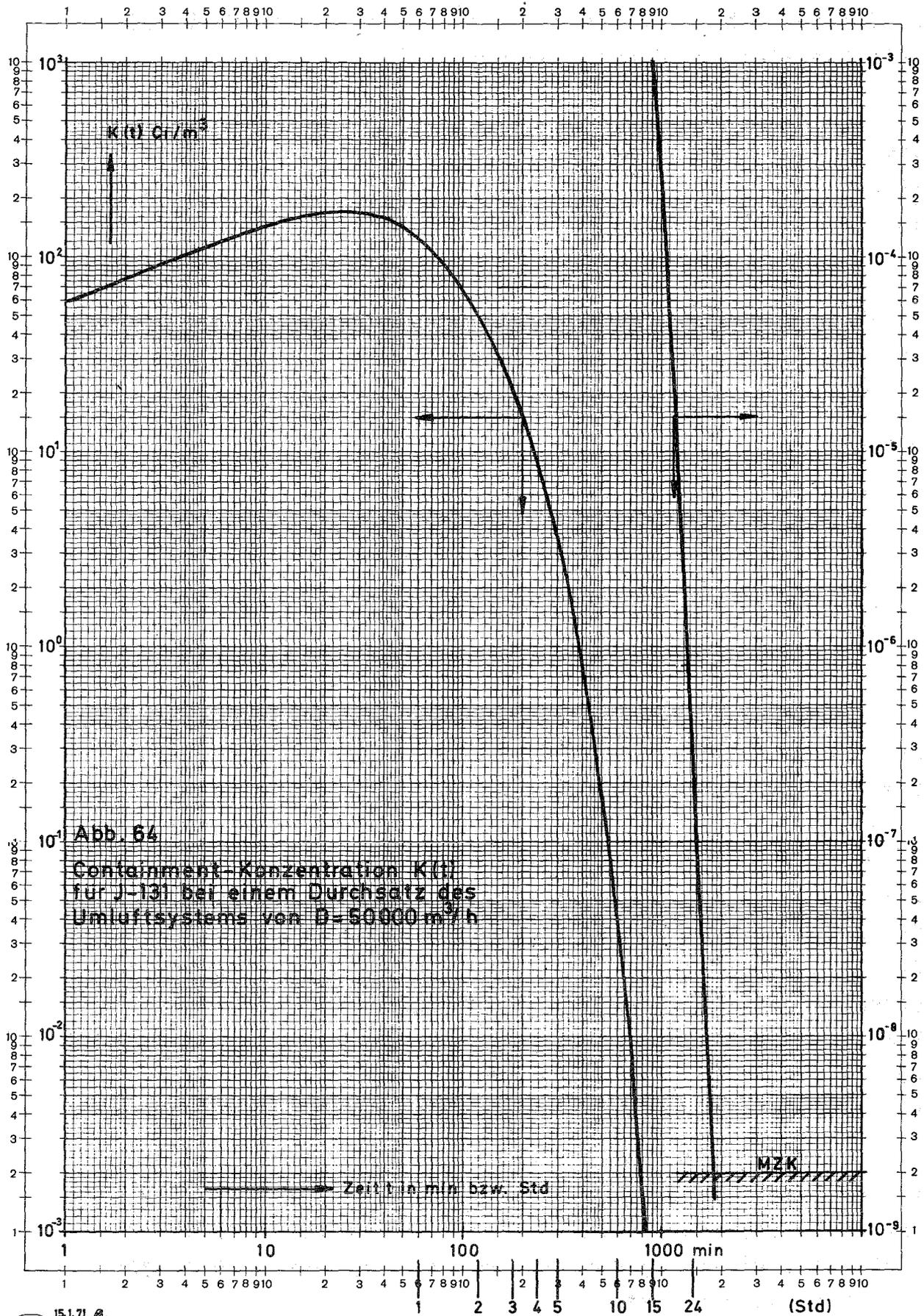


Abb. 64

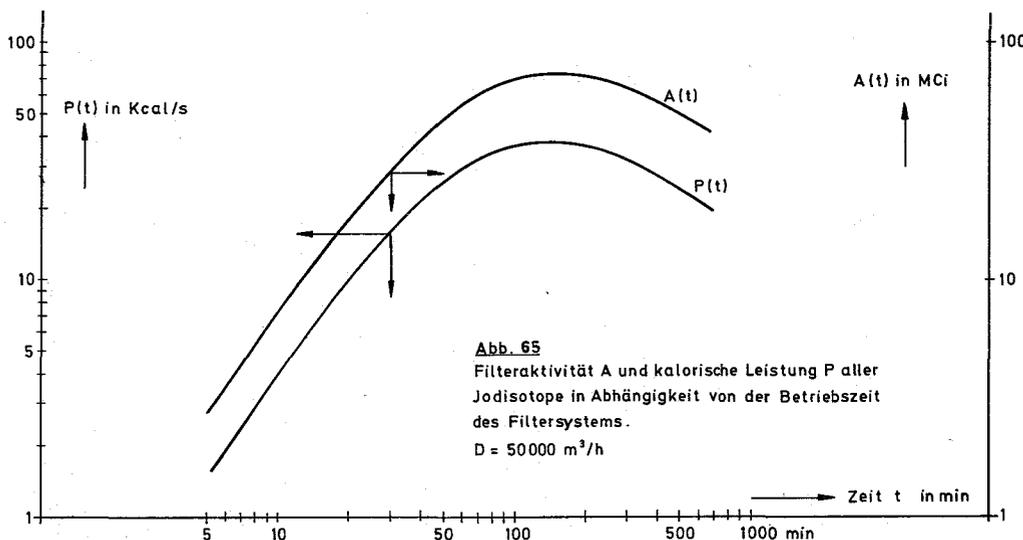
Containment-Konzentration  $K(t)$   
für J-131 bei einem Durchsatz des  
Umluftsystems von  $D=50000 \text{ m}^3/\text{h}$

Zeit t in min bzw. Std

MZK

Die MKZ für  $^{131}\text{J}$  von  $2 \cdot 10^{-9} \text{ Ci/m}^3$  gemäß Anlage II der 1. Strahlenschutzverordnung wird nach einer Umluft-Betriebszeit von etwa 33 Stunden unterschritten.

Für den gleichen Durchsatz ist in Abbildung 65 der zeitliche Verlauf der Filteraktivität bzw. der kalorischen Leistung sämtlicher Jodisotope aufgetragen. Die kalorische Leistung erreicht im Maximum 40 Kcal/s.



Da in verschiedenen Veröffentlichungen (K. Winter, "Zum Temperaturanstieg der Jodfilter in Kernkraftwerken", Techn. Überwachg. 8/11 (Nov. 1967); R.P. Shields, "Ignition of Charcoal Adsorbers by Fission Product Decay Heat", Reactor Chemistry Division, ORNL-DWG 70, 1.9.1970) Belastungen von Aktivkohlefiltern im Bereich zwischen 10 und 240 Kcal/s untersucht und hierbei Temperaturerhöhungen zwischen 60 und 230<sup>0</sup> C abgeschätzt wurden, darf auch im vorliegenden Falle bei einer kalorischen Leistung von maximal 40 Kcal/s die Temperaturerhöhung nicht mehr vernachlässigt werden.

Eine genauere Untersuchung muß klären, welcher Kompromiß zwischen möglichst schneller Entaktivierung - d. h. Begehbarkeit - des Containments einerseits und einer noch vertretbaren Aufheizung des Filtermaterials andererseits geschlossen werden kann.

## 7.2 Dosisleistungs- und Abschirmungsrechnungen

### 7.2.1 Abschirmung für die Heiße Zellen-Anlage VERA

H. Elbel

Die Abteilung Dekontaminationsbetriebe errichtet eine Heiße Zellen-Anlage zur Verfestigung hochradioaktiver Abfälle (VERA). In dieser Anlage werden die radioaktiven Abfalllösungen aufbereitet, die bei der chemischen Zerlegung von bestrahlten Brennelementen durch die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe anfallen.

Die Strahlenabschirmung der einzelnen Anlagekomponenten sollte so ausgelegt werden, daß bei der größtmöglichen Beaufschlagung mit Aktivität die Dosisleistungsgrenzwerte nicht überschritten werden, die entsprechend der während des Betriebs erforderlichen Betretbarkeit einiger Zellen und der angrenzenden Räume vorgegeben sind.

Als Abschirmmaterial sollte Normalbeton verwendet werden. Vorbereitende Abschätzungen haben gezeigt, daß dieser Wunsch für die Bedienungswand nicht erfüllt werden kann. Durch die dort vorgesehenen Manipulatoren ist die Dicke der Wand auf 91,5 cm festgelegt. Eine Beeinflussung der Abschirmwirkung ist damit nur über die Art des Materials, d. h. im wesentlichen durch seine Dichte zu erreichen. Das bedeutet die Verwendung von Schwerbeton an dieser Stelle der Abschirmung.

Bevor die radioaktiven Spaltprodukte von der Wiederaufarbeitungsanlage zur Weiterverarbeitung in die Heiße Zellen-Anlage VERA gebracht werden, haben sie eine Mindestkühlzeit von 2 Jahren hinter sich. Die Bestrahlungszeit der aufbereiteten Brennelemente wird mit 1000 Tagen angenommen.

Diese beiden Zeitangaben bestimmen das zeitabhängige Energiespektrum der von den radioaktiven Spaltprodukten emittierten Gamma-Strahlung. Für die Rechnung wird dieses Spektrum in eine feste Anzahl von Energiegruppen zerlegt, die durch eine mittlere Energie gekennzeichnet werden und in denen die von der Energie abhängigen Parameter als konstant angesetzt werden.

Die zur Abschirmung erforderlichen Schichtdicken und Schichtqualitäten haben zur Folge, daß von diesen Energiegruppen diejenige mit der mittleren Energie  $\bar{E} = 2 \text{ MeV}$  den Hauptteil von rund 85 % der Strahlenbelastung verursacht.

Alle Anlagekomponenten werden aus zylindrisch geformten Behältern bzw. Körpern gebildet. Die Berechnung der Dosisleistung in deren Umgebung ist deshalb für zylindrische Strahlenquellen durchzuführen, die durch ebene Wände abgeschirmt werden.

Dafür stand ein für die IBM 360/65 geschriebenes Rechenmaschinenprogramm zur Verfügung. Dieses Programm bestimmt die Gamma-Dosisleistung an zwei markanten Punkten  $P_1$  und  $P_2$  in der Umgebung der Zylinderquelle. Der Punkt  $P_1$  liegt auf der Achse des Zylinders, der Punkt  $P_2$  auf der Mittelebene. Der Wert für die Dosisleistung wird durch Integration über die Beiträge des gesamten Quellenvolumens unter Berücksichtigung der Eigenabsorption innerhalb der Quelle und unter Einbeziehung der Zuwachsfaktoren für Quelle und Abschirmung gewonnen.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in die beiden Abbildungen 66 und 67 eingetragen.

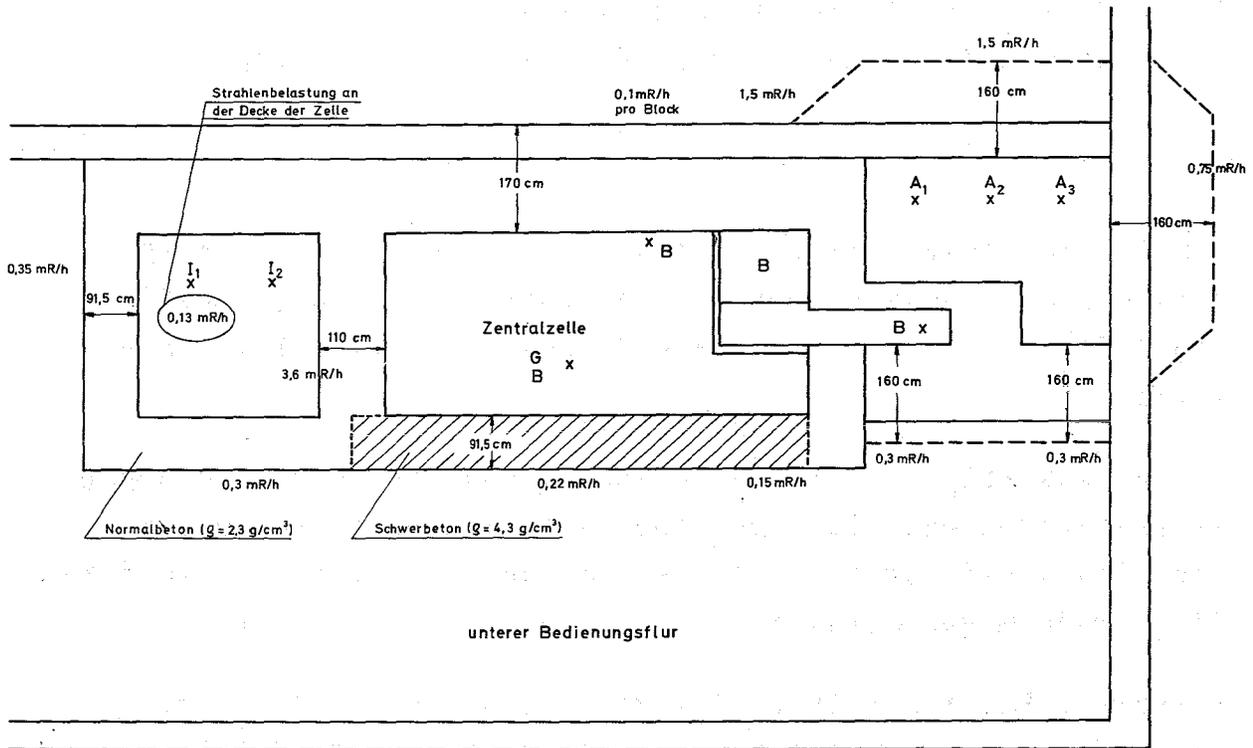
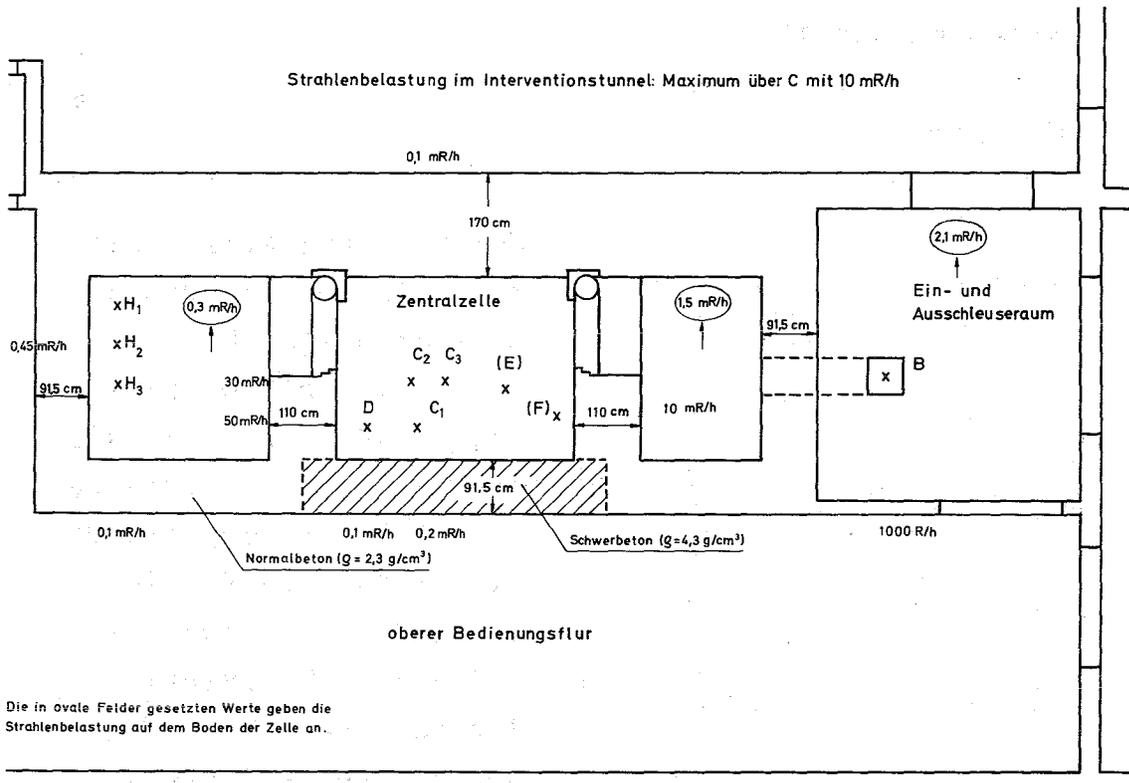


Abb.66 Im Kellergeschoß zu erwartende Strahlenbelastung Dosisleistungswerte in mR/h



Die in ovale Felder gesetzten Werte geben die Strahlenbelastung auf dem Boden der Zelle an.

Abb.67 Im Erdgeschoß zu erwartende Strahlenbelastung Dosisleistungswerte in mR/h

### 7.2.2 Dosisleistung in der Umgebung eines mit radioaktivem Abfall gefüllten Rollreifenfasses

H. Elbel

Ein Rollreifenfaß hat ein Volumen von etwa 200 l. Sein Inhalt besteht entweder aus Bitumen oder aus Zement, jeweils angereichert mit anorganischen Salzen des radioaktiven Abfalls.

Für dieses Faß wurde die ohne Abschirmung in seiner Umgebung zu erwartende Dosisleistung für verschiedene Abstände und für eine spezifische  $\gamma$ -Quellstärke von  $3,7 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-3}$  in Diagrammform dargestellt.

Beispiel: Bei einer Co-60-Aktivität von 5 Ci in einer Zementfüllung beträgt die Dosisleistung an der Oberfläche (Stirnseite) 68 R/h.

### 7.2.3 Dosisleistung an einer Fasskammer für radioaktiven Abfall

W. Helm

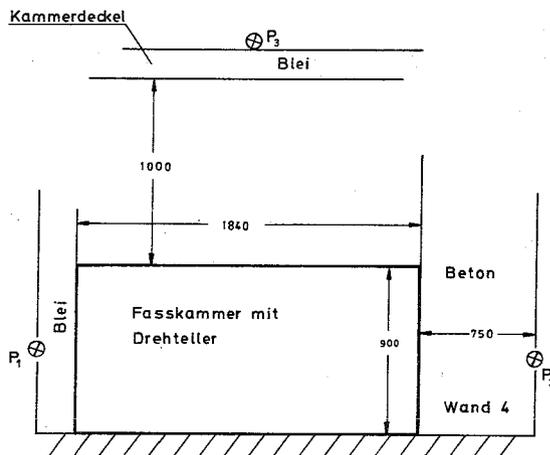


Abb. 68 Seitenansicht der Fasskammer

Für eine Faßkammer, die 6 Rollreifenfässer mit Spaltprodukten bis zu 200 Ci auf einem Drehteller aufnimmt, war diejenige Bleiwandstärke zu ermitteln, welche die Dosisleistung an der Außenwand auf weniger als 2,5 mrem/h herabsetzt. Aus der Abbildung 68 gehen die geometrischen Bedingungen und Abmessungen hervor.

Die Rechnung zeigt, daß für

P <sub>1</sub>	eine Bleischicht	von	13	cm
P <sub>2</sub>	"	"	1,2	cm
P <sub>3</sub>	"	"	13,5	cm

erforderlich ist, damit dort eine Dosisleistung von 2,5 mrem/h nicht überschritten wird.

#### 7.2.4 Zusatzabschirmung des FRF

*W. Comper*

Für eine Ausrüstung des Forschungsreaktors der Universität Frankfurt mit einem Core erhöhter Leistung soll eine Zusatzabschirmung vorgesehen werden, deren Wirksamkeit zu untersuchen war. Für 10 Varianten der Primärabschirmung wurde die Wärmeproduktion in der Abschirmung sowie die Strahlenbelastung an der Reaktoroberfläche bestimmt. Folgendes Rechenverfahren wurde angewendet:

Die Neutronenflußverteilung wurde nach der kombinierten Removal- und Gruppendiffusionsmethode durchgeführt. Zur Berechnung des Removalflusses wurde der Reaktorkern als Kegelstumpf betrachtet. Die Verteilung der Diffusionsneutronen wurde mit einer 4-Gruppen- bzw. 26-Gruppenrechnung berechnet. Die Gammastrahlung aus dem Core wurde ebenfalls mit der Kegelstumpfgeometrie bestimmt. Der Anteil der Einfanggammastrahlung wurde für ebene Geometrie berechnet und nachträglich auf Zylindergeometrie reduziert. Die Gammaquellenstärken für die 6 Gammaenergiegruppen wurden aus der gegebenen Core-Zusammensetzung berechnet.

Die Abschirmung weist von innen nach außen folgende Schichten auf:

37 cm Graphit; 0,5 cm Al; Zusatzabschirmung;  
165 cm borierter Beton ( $\rho = 3,8 \text{ g/cm}^3$ ).

Von den 10 gerechneten Varianten der Zusatzabschirmung werden die zwei günstigsten Materialkombinationen angeführt:

Variante 5

5 cm Blei; 3,5 cm Spezialbeton ( $\rho = 4,4 \text{ g/cm}^3$ ); 1 cm Fe

Zusammensetzung des Spezialbetons:

80,8 % Fe; 6,04 % B<sub>4</sub>C; 8,43 % Zement; 4,73 % H<sub>2</sub>O.

Variante 7

5 cm Fe + Bor; 0,5 cm H<sub>2</sub>O; 4 cm Fe + Bor

Zusammensetzung des borierten Eisens:

Fe + 1,5 % B

Die Rechnungen zeigten, daß nur bei 2 der 10 berechneten Varianten die Dosisrate an der Oberfläche der Abschirmung den Wert von 1 mrem/h überschreitet, ein Wert, welcher für die Wahl der Zusatzabschirmung nicht entscheidend ist. Dagegen dürfte die relativ starke Wärmeerzeugung an der Innenseite der Zusatzabschirmung deren Auslegung beeinflussen. Die nachfolgende Tabelle zeigt für die zwei oben angeführten Varianten die Gesamtdosisrate am Rande der äußeren Abschirmung sowie die Wärmeproduktion am Rande der Zusatzabschirmung in Richtung Core.

	Dosisrate	Wärmeerzeugung
Variante 5	0,68 mrem/h	0,4 W/cm <sup>3</sup>
Variante 7	0,52 mrem/h	0,52 W/cm <sup>3</sup>

Abbildung 69 zeigt die Verteilung der thermischen Neutronenflußdichte in der Abschirmung, welche ein Maß für die Wärmeerzeugung ist.

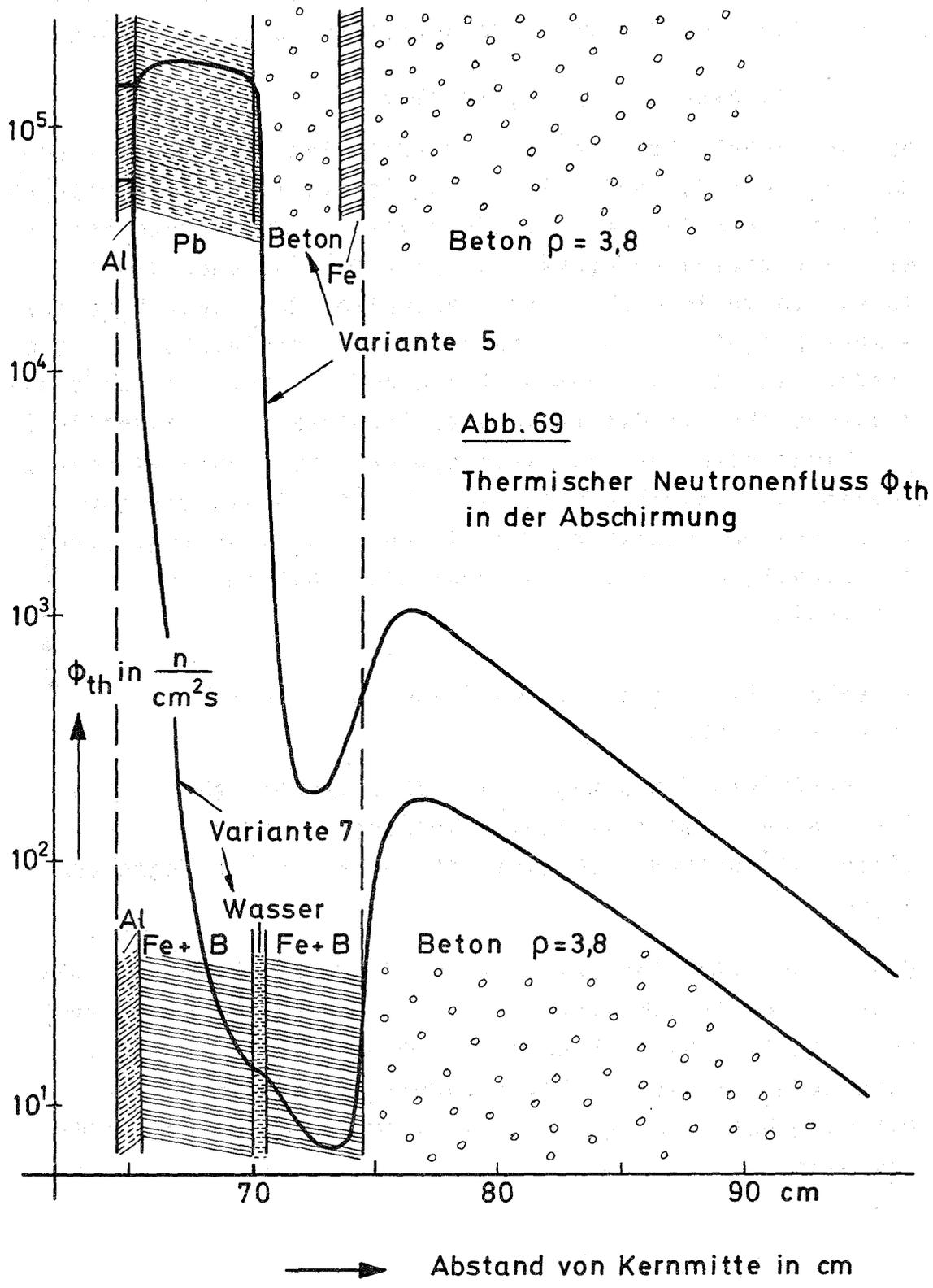


Abb. 69

Thermischer Neutronenfluss  $\Phi_{th}$   
in der Abschirmung

### 7.2.5 Strahlenbelastung bei einem Tankwechsel des FR 2

W. Comper

Im Rahmen einer Voruntersuchung für den geplanten Wechsel des FR 2-Tanks wurden folgende Berechnungen durchgeführt:

#### - Strahlenbelastung bei geflutetem Tank

Aus dem Reaktortank werden die Brennelemente entfernt und der Tank mit  $H_2O$  gefüllt. Die Dosisrate für einen Aufpunkt auf der Achse des zylindrischen Reaktortanks wurde berechnet. Für diesen Aufpunkt ist der Verteilerboden des Al-Tanks die dominierende Strahlenquelle. Bei einer Höhe des Wasserspiegels von 3,5 m beträgt die Dosisleistung in 5 m Entfernung ca. 1,2 mrem/h. Für einen Aufpunkt am Rande des Reaktortanks ist der aktivierte Stahltank die wesentliche Strahlenquelle, da die Strahlung der Edelstahlplattierung ungeschwächt durch den ca. 4 cm breiten Spalt wirksam wird. Die Dosisleistung für diesen Punkt - bedingt durch die direkte und gestreute Strahlung - beträgt ca. 1,8 rem/h.

#### - Strahlenbelastung durch den Graphitwagen der Thermischen Säule

Die Aktivierung des Wagens der Thermischen Säule wurde für die neue Materialzusammensetzung berechnet und die Strahlenbelastung nach einer Abkühlzeit von 7 Tagen bestimmt.

Die Vorderseite des Wagens trägt die Hauptaktivität. Sie führt in einer Entfernung von 1 m zu einer Dosisleistung von etwa 1,5 rem/h. Eine Abschirmung von 10 cm Blei ist notwendig, um die Strahlung soweit abzuschirmen, damit eine Dosisleistung von 2,5 mrem/h nicht überschritten wird.

- Strahlenbelastung bei der Lagerung des unteren Reaktordeckels

Der untere Deckel besteht aus einer Stahldose, die über dem Core mit Beton der Dichte  $2,3 \text{ g/cm}^3$  angefüllt ist. Die untere Platte des Deckels, die den oberen Reflektor des Reaktors begrenzt, besitzt die gleiche Schichtenfolge, wie sie beim Stahltank gegeben ist: 2 cm Stahl mit Edelstahlplattierung; 0,7 cm Boral; 10 cm Blei; 2 cm Stahl; dann folgt die Betonfüllung der Stahldose.

Die wesentliche Strahlenquelle des Reaktordeckels ist durch die aktivierte Bodenplatte gegeben. Die mittlere Quellstärke dieser 2 cm dicken Schicht (1,7 cm Stahl; 0,3 cm Plattierung) beträgt:

$$S_r (0,32 \text{ MeV}) \approx 3 \cdot 10^9 \text{ } \gamma/\text{cm}^3 \text{ s}$$

$$S_r (1,1 \text{ MeV}) = 10^{10} \text{ } \gamma/\text{cm}^3 \text{ s}$$

$$S_r (1,3 \text{ MeV}) = 10^{10} \text{ } \gamma/\text{cm}^3 \text{ s}$$

Die durchgeführten Rechnungen zeigten, daß bei einer Abschirmung durch 10 cm Blei die Dosisleistung 5 m seitlich des Reaktordeckels etwa 150 mrem/h beträgt. Der Beitrag der Streustrahlung beträgt in dieser Entfernung ca. 20 mrem/h.

### 7.3 Rechenprogramme

#### 7.3.1 Numerische Berechnung der Konzentrationsverteilung

K. Nester

Die bisherigen Beobachtungen am Kernforschungszentrum Karlsruhe haben gezeigt, daß sich die Turbulenzverhältnisse zum Teil beträchtlich mit der Höhe ändern. Um auch bei solchen Situationen die bei einer Emission auftretenden Konzentrationen abschätzen zu können, wurde ein Fortran-Programm entwickelt, das einen höhenveränderlichen vertikalen Diffusionskoeffizienten berücksichtigt.

Ausgangspunkt der Rechnungen bildet die Diffusionsgleichung

$$\bar{u}(z) \frac{\partial s}{\partial x} = K_y(x,z) \frac{\partial^2 s}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z} K_z(x,z) \frac{\partial s}{\partial z}$$

wobei

$s$  = Konzentration  $\left[ \frac{Ci}{m^3} \right]$

$\bar{u}$  = mittlere horizontale Windgeschwindigkeit [m/s]

$K_y, K_z$  = Diffusionskoeffizienten  $\left[ \frac{m^2}{s} \right]$

In dem zur Zeit vorliegenden Programm wird noch die Annahme einer Gaußverteilung in der Horizontalen gemacht. Diese Annahme wird bei der in Ausarbeitung befindlichen Erweiterung des Programms fallengelassen. Die vertikale Änderung der Turbulenz wird durch den Ansatz

$$K_z(x,z) = K_0(x) \cdot F(z)$$

berücksichtigt, wobei die Funktionen  $K_0$  und  $F$  beliebig gewählt werden können.

Zur Lösung des Problems werden die Differentialquotienten in  $z$  durch Differenzenquotienten ersetzt und die Diffusionsgleichung in ein Differentialgleichungssystem erster Ordnung überführt.

Das Programm sieht 30 Gleichungen mit einem  $\Delta z$  von 10 m vor, womit eine Ausbreitungsschicht von 300 m erfaßt werden kann.

Am Boden wird Reflexion und in 300 m Höhe Absorption angenommen. Diese Bedingungen können auch anders gewählt werden.

Um das Differentialgleichungssystem lösen zu können, muß die Funktion  $F(z)$  vorgegeben werden. Dies geschieht durch eine Zuordnung zwischen  $F(z)$  und dem vertikalen Temperaturgradienten, welcher als Maß für die Turbulenz angesehen wird.

Bei bekanntem Windprofil  $\bar{u}(z)$  und Temperaturprofil  $T(z)$  läßt sich die Konzentrationsverteilung berechnen. Die benötigte reine Rechenzeit ist mit etwa 2 sec auf der IBM 360/85 gering.

Für das in Abbildung 70 dargestellte Wind- und Temperaturprofil wurde in Abbildung 71 die bei einer Quellstärke von  $3,6 \frac{Ci}{h}$  und einer Quellhöhe von 100 m zu erwartende Konzentrationsverteilung dargestellt. Man erkennt deutlich die Wirkung der Höheninversion ("Fumigation"-Lage) auf die Konzentrationsverteilung mit der Höhe.

### 7.3.2 Auswertung meteorologischer Daten

*K. Nester*

Im Rahmen der Auswertung meteorologischer Daten wurden mehrere Fortran-Programme erstellt, die im folgenden kurz beschrieben werden.

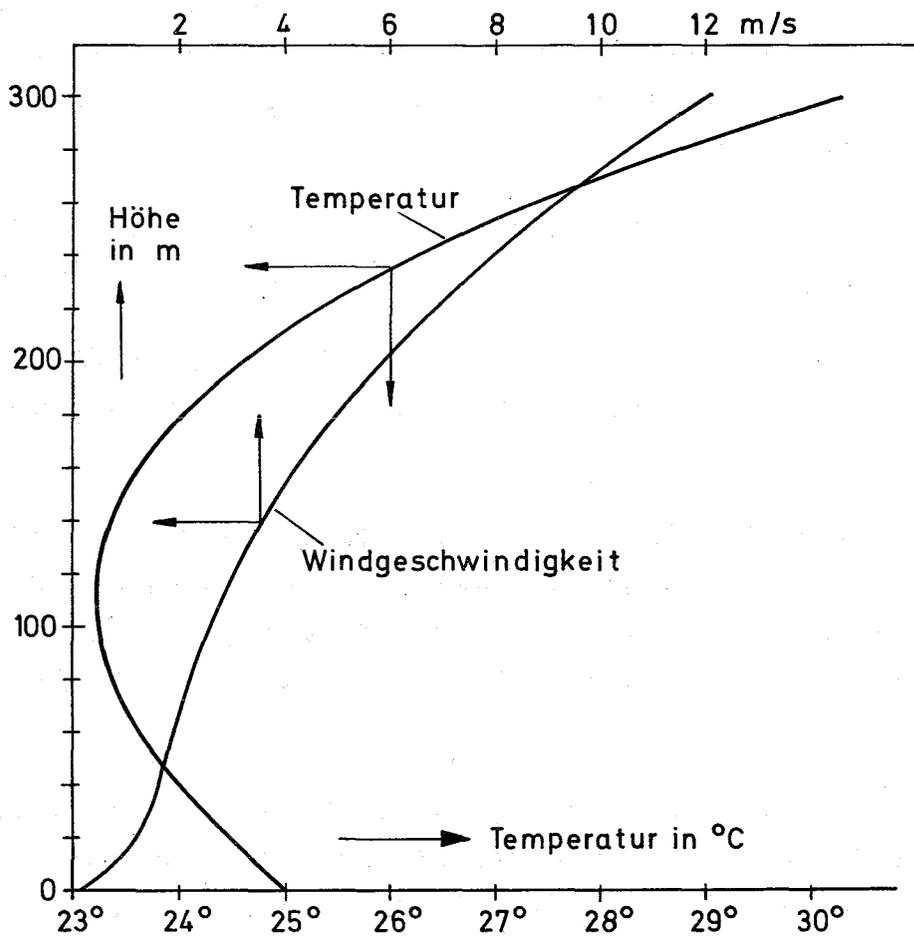


Abb. 70  
Temperatur- und Windprofil „Fumigation“-Lage

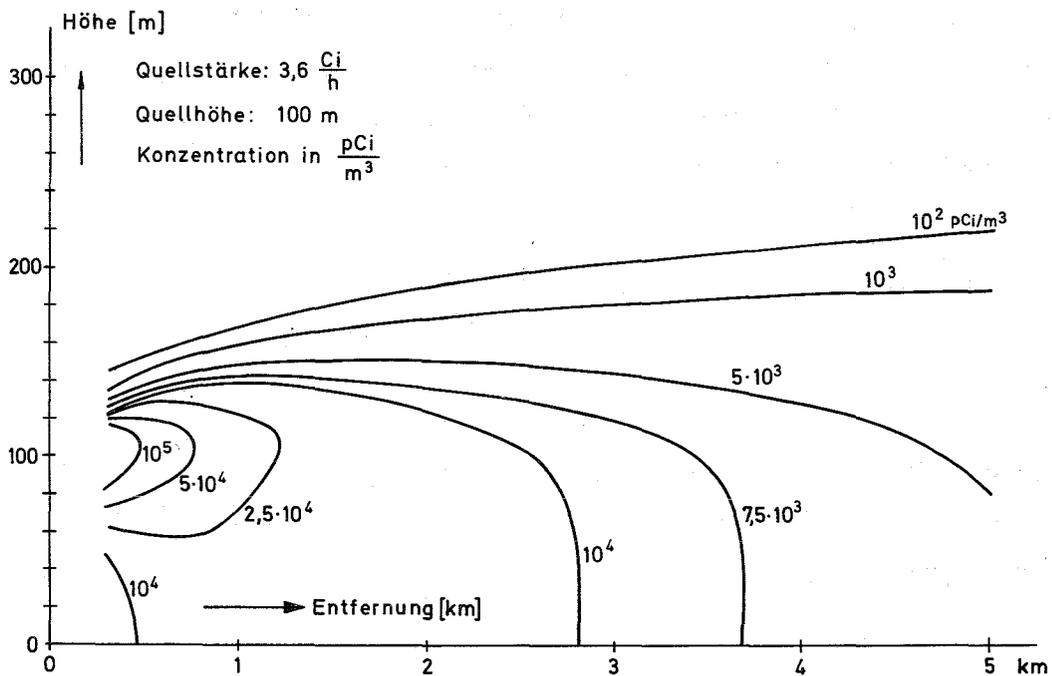


Abb. 71  
Isolinien der Konzentration bei einer „Fumigation“-Lage

- Berechnung von Beständigkeitsfaktoren

Um Aussagen über die Beständigkeit der Windverhältnisse am Kernforschungszentrum Karlsruhe machen zu können, wurde ein Programm zur Berechnung der Beständigkeitsfaktoren

$$BF_K = \frac{\left[ \sum_{N=1}^K u_N \cos \phi_N \right]^2 + \left[ \sum_{N=1}^K u_N \sin \phi_N \right]^2}{\sum_{N=1}^K u_N^2}^{1/2}$$

bzw.

$$S_K = \frac{2}{\pi} \arcsin BF_K$$

entwickelt. Dabei sind die Größen  $u_N$  bzw.  $\phi_N$  zeitlich aufeinanderfolgende 10-min-Mittelwerte der Windgeschwindigkeit bzw. der Windrichtung.  $K$  ist die Zeit, über die der Beständigkeitsfaktor gebildet wird.

Die Faktoren  $BF$  und  $S$  liegen zwischen dem Wert 0 (völlig unbeständig) und dem Wert 1 (extrem beständig). Das vorliegende Programm berechnet eine Häufigkeitsstatistik der Kombinationen von  $K$  und  $BF$  bzw.  $S$ .

- Tagesgang der Windrichtung und der Windrichtungsscherung

Zur Untersuchung von lokalen Einflüssen auf die Windverhältnisse am Kernforschungszentrum wurden zwei Programme erstellt, die die Häufigkeit der Windrichtungen bzw. der Windrichtungsdifferenz zwischen 200 m und 60 m Höhe in Abhängigkeit von der Tageszeit berechnen. Die Auswertungen lassen erkennen, daß gewisse Strömungsverhältnisse häufig zur gleichen Tagesperiode auftreten. Eine Talzirkulation im üblichen Sinne war erwartungsgemäß bisher nicht festzustellen.

- Berechnung des Wind- und Temperaturprofils

Am 200 m hohen meteorologischen Mast im Kernforschungszentrum Karlsruhe werden in verschiedenen Höhen die Windgeschwindigkeit und die Temperatur gemessen. Für viele Zwecke ist es wichtig, den Verlauf der Windgeschwindigkeit und der Temperatur als Funktion der Höhe zu kennen. Aus diesem Grunde wurden zwei Programme geschrieben, die mittels der Methode der kleinsten Quadrate die Koeffizienten einer vorgegebenen Funktion bestimmen.

Für die Windgeschwindigkeit werden die beiden Ansätze:

$$u_1(z) = u_0 \ln \frac{z}{z_0} + a_1 z + a_2 z^2 + a_3 z^3 \quad \text{und}$$

$$u_2(z) = u_0 \left( \frac{z-z_1}{z_0} \right)^{P_0}$$

gemacht.

Der Temperaturverlauf mit der Höhe wird ebenfalls durch zwei Funktionen zu beschreiben versucht, und zwar:

$$T_1(z) = T_0 + \gamma_1 z + \gamma_2 z^2 + \gamma_3 z^3 \quad \text{und}$$

$$T_2(z) = \left\{ \begin{array}{ll} T_1 + \gamma_1 z & 0 \leq z \leq z_1 \\ T_2 + \gamma_2 z & z_1 \leq z \leq z_2 \\ T_3 + \gamma_3 z & z_2 \leq z \leq 200 \text{ m} \end{array} \right\}$$

Beim Ansatz  $T_2(z)$  können die Schichtgrenzen zusammenfallen, so daß auch weniger als drei Schichten möglich sind. Der zweite Ansatz dient vor allem der Lokalisierung von Inversionsgrenzen.

- Windgeschwindigkeitsstatistik in verschiedenen Höhen

Dieses Programm berechnet eine Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit für die 10 Meßhöhen am meteorologischen Mast. Die Windgeschwindigkeitsstufen betragen 1 m/s. Die Auswertungen der auf Band befindlichen Meßwerte des Jahres 1968 wurden getrennt nach Jahreszeiten abgeschlossen.

7.3.3 Auswertung von Ausbreitungsversuchen

D. Nagel

Zur Auswertung der von der Abteilung durchgeführten Ausbreitungsversuche ist es notwendig, die meteorologischen Parameter innerhalb des gegebenen Spielraumes zu variieren. Zu diesem Zweck wurde ein Auswerteprogramm geschrieben, welches die Meßwerte mit einer theoretischen Konzentrationsverteilung entsprechend der bekannten Gaußverteilung vergleicht. Das Programm gestattet u. a. auch, die Parameterscharen  $\sigma_x$  zu variieren. Die Ergebnisse werden in Diagrammform ausgedruckt.

7.3.4 Gamma-Dosisleistung an der Oberfläche einer mehrschichtigen Abschirmung für Zylindergeometrie

H. Elbel

Dieses Rechenmaschinenprogramm, benannt GAMAZ1, ist in Fortran IV für die IBM 360/65 geschrieben. Es berechnet die Gamma-Dosisleistung an zwei Punkten  $P_1$  und  $P_2$  in der Umgebung eines durch mehrere Materialschichten abgeschirmten Zylinders. Der Punkt  $P_1$  liegt auf der Achse, der Punkt  $P_2$  auf der Mittelebene des Zylinders. Die Abschirmung kann den Zylinder konzentrisch umgeben oder eben sein. Der Wert für die Dosisleistung wird durch Integration über die Beiträge des gesamten Zylindervolumens unter Berücksichtigung der Eigenabsorption und unter Einbeziehung der Zuwachsfaktoren gewonnen.

## 8. Meteorologie

Die zentrale Aufgabe der Gruppe Meteorologie ist die Erforschung der Ausbreitung radioaktiver Abgase in der Atmosphäre mit dem Ziel, bei einem Großteil der vorkommenden Ausbreitungsverhältnisse das Konzentrationsfeld im Lee einer Quelle hinreichend genau bestimmen zu können. Zur Erreichung dieses Ziels werden zwei Wege beschritten:

- Messung der mikrometeorologischen Verhältnisse, d. h. der Luftbewegungen, insbesondere der Fluktuationen, an einem Ort in verschiedenen Höhen und Schlußfolgerung auf die atmosphärische Ausbreitung,
- Emission einer dosierten Menge eines Tracers über einen Schornstein und Messung des Konzentrationsfeldes am Erdboden.

Zu beiden Methoden wurden im Berichtsjahr wesentliche Beiträge geleistet. Die im Jahresbericht 1969 (6) beschriebene Neuinstrumentierung des 200 m hohen Meßturms wurde abgeschlossen. Der Prozeßrechner PDP8/I zur automatischen Datenabfrage und -speicherung wurde in Betrieb genommen. Rechner und Instrumentierung befinden sich seit Ende 1970 in der Erprobung. Die Ausbreitungsversuche mit tritiummarkierter Abluft wurden im Jahre 1970 fortgesetzt.

### 8.1 Dynamische Eigenschaften der Schalenstern-Anemometer

W. Hübschmann;

H. Lenhardt (Labor für Elektronik und Messtechnik)

Am Meßturm des Kernforschungszentrums Karlsruhe werden Schalenstern-Anemometer zur Messung der Momentanwerte der Windgeschwindigkeit eingesetzt. Um festzustellen, wie weit das Anemometer den Fluktuationen der horizontalen Windgeschwindigkeit folgen kann, müssen die dynamischen Eigenschaften des Anemometers bekannt sein. Daher wurde ein

Anemometer im Windkanal getestet. Aus dem einfachen Anlaufversuch im stationären Windfeld kann eine Reihe dynamischer Eigenschaften des Schalenstern-Anemometers ermittelt werden, wenn ein genügend genaues theoretisches Modell zur Verfügung steht.

Um dieses zu entwickeln, wird - im Unterschied zu bisher bekannten Ansätzen - vom statischen Momentenverlauf der Einzelschale ausgegangen. Dieser wird, entsprechend einer Fourier-Analyse, durch Überlagerung von zwei Sinusschwingungen approximiert. Die Oberschwingungen können dabei vernachlässigt werden. Aus der Überlagerung der Momente der drei Einzelschalen ergibt sich - unter Vernachlässigung des Abschattungseffekts - das von der relativen Umfangsgeschwindigkeit  $u/w$  abhängige Gesamtmoment des Schalensterns, das sich aus einem beschleunigenden und einem oszillierenden Moment zusammensetzt.

Die Konstanten des beschleunigenden Momentes werden so justiert, daß die theoretisch berechnete stationäre Umfangsgeschwindigkeit (genauer: das Verhältnis Umfangs- und Windgeschwindigkeit  $(\frac{u}{w})_{\infty}$ ) mit der gemessenen übereinstimmt.

Das oszillierende Moment verursacht eine Schwankung der stationären Umfangsgeschwindigkeit von lediglich 2 % und kann daher vernachlässigt werden.

Das mit dem beschleunigenden Moment auf theoretischem Wege ermittelte Anlaufverhalten entspricht in guter Näherung dem bekannten exponentiellen Verlauf (Abb. 72). Die asymptotische Annäherung der relativen Umfangsgeschwindigkeit  $\frac{u}{w}$  an ihren Endwert  $(\frac{u}{w})_{\infty}$  hängt lediglich vom Windweg, nicht jedoch von der Windgeschwindigkeit ab. Derjenige Windweg, durch den das Anemometer auf 63 % seiner Endgeschwindigkeit beschleunigt wird, ist die Anlaufkonstante  $D$ . Diese wurde durch die Anlaufversuche zu  $D = 7$  m bestimmt.

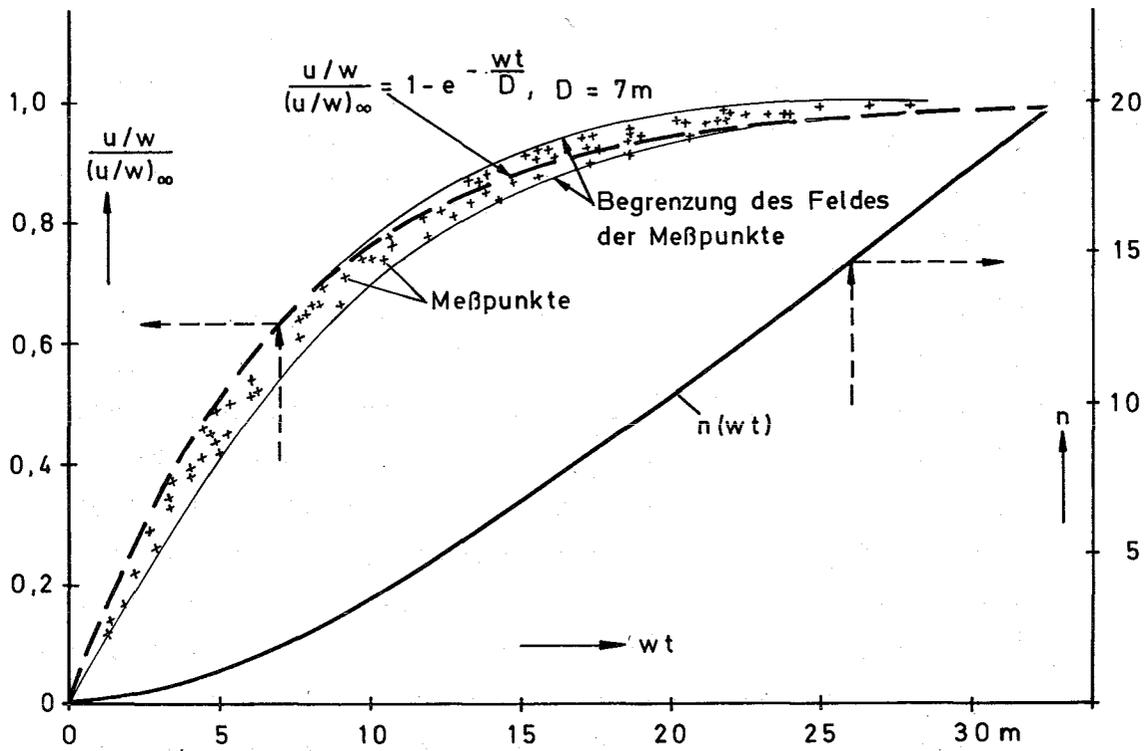


Abb. 72 Anlaufversuch, Approximation der Meßpunkte

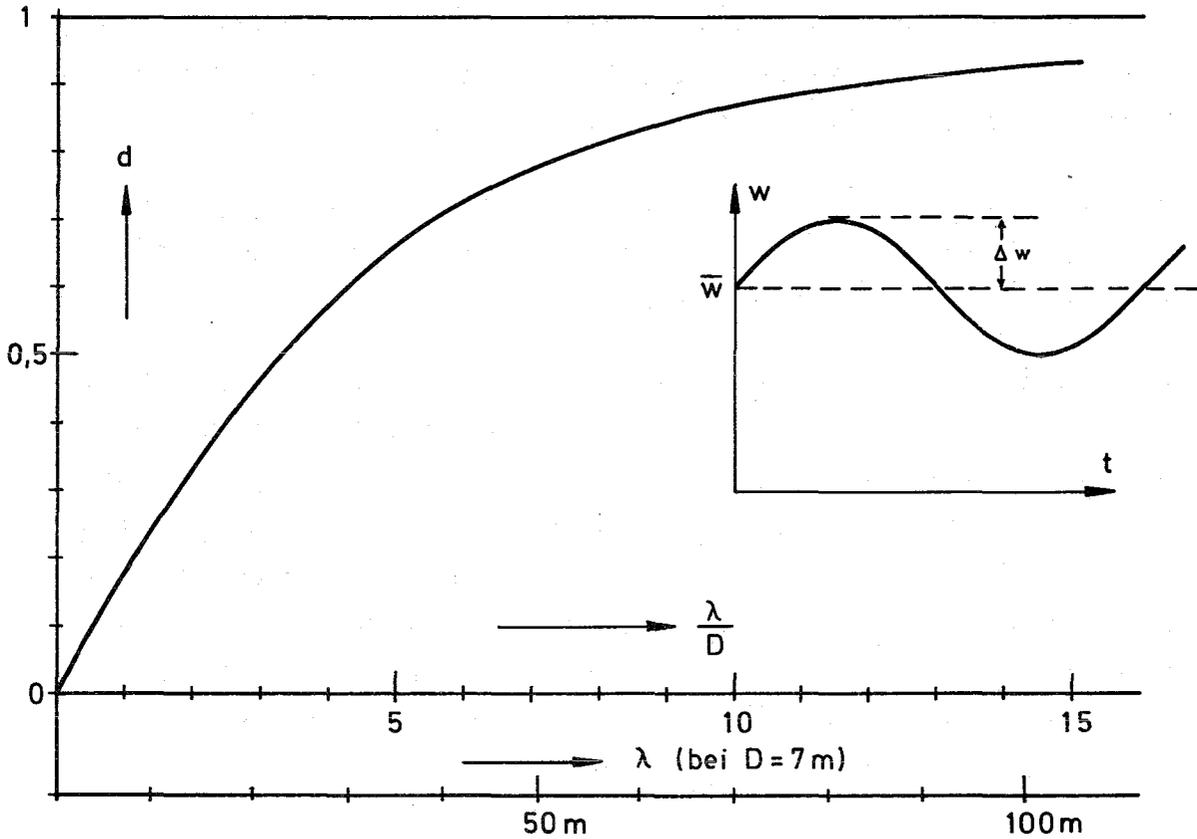


Abb. 73 Dämpfungsfaktor  $d = \left[ \left( 5,65 \frac{D}{\lambda} \right)^2 + 1 \right]^{-\frac{1}{2}}$

Das dynamische Verhalten des Schalenstern-Anemometers bei fluktuierender Windgeschwindigkeit kann anhand eines einfachen Modells dargestellt werden. Führt der Windvektor bei konstanter horizontaler Richtung sinusförmige Schwingungen um die mittlere Geschwindigkeit aus, und ist die Schwingungsamplitude klein gegenüber der mittleren Geschwindigkeit, dann zeigt auch die Umfangsgeschwindigkeit des Anemometers eine Sinusschwingung, welche jedoch verzögert und gedämpft ist. Der Dämpfungsfaktor  $d$  (Abb. 73) hängt nur ab von der Windwellenlänge  $\lambda$ ; das ist der Windweg, über den der Windvektor eine Schwingung ausführt. Dies ist ein Maß für die Größe der Turbulenzelemente.

Die Abbildung 73 zeigt, daß bei Windwellenlängen unter 5 m die Schwingungsamplitude durch die Trägheit des Anemometers auf weniger als 10 % ihres tatsächlichen Wertes gedämpft wird, so daß die Anzeige nicht mehr signifikant ist. Bei Wellenlängen von 10 m an aufwärts werden die Windschwankungen vom untersuchten Anemometer deutlich nachvollzogen.

Wird die Umfangsgeschwindigkeit des Schalensterns jedoch in bestimmten festen Zeitabständen abgefragt, dann hängt die Auflösung der Geschwindigkeitsfluktuationen zusätzlich von der mittleren Windgeschwindigkeit und der Abfragefrequenz ab. Schon bei einer mittleren Geschwindigkeit von 5 m/s ist eine Abfragefrequenz von wesentlich mehr als 1 je Sekunde erforderlich, um einzelne Schwingungen nach Amplitude und Schwingungsfrequenz erfassen zu können.

## 8.2 Auswertung der Ausbreitungsversuche

W. Comper, W. Hübschmann, K. Nester

Um weitere Kenntnisse über die örtlichen Ausbreitungsbedingungen zu erhalten, wurden die am 23.1.1969 begonnenen Experimente mit der Ausbreitung von tritiiertem Wasserdampf

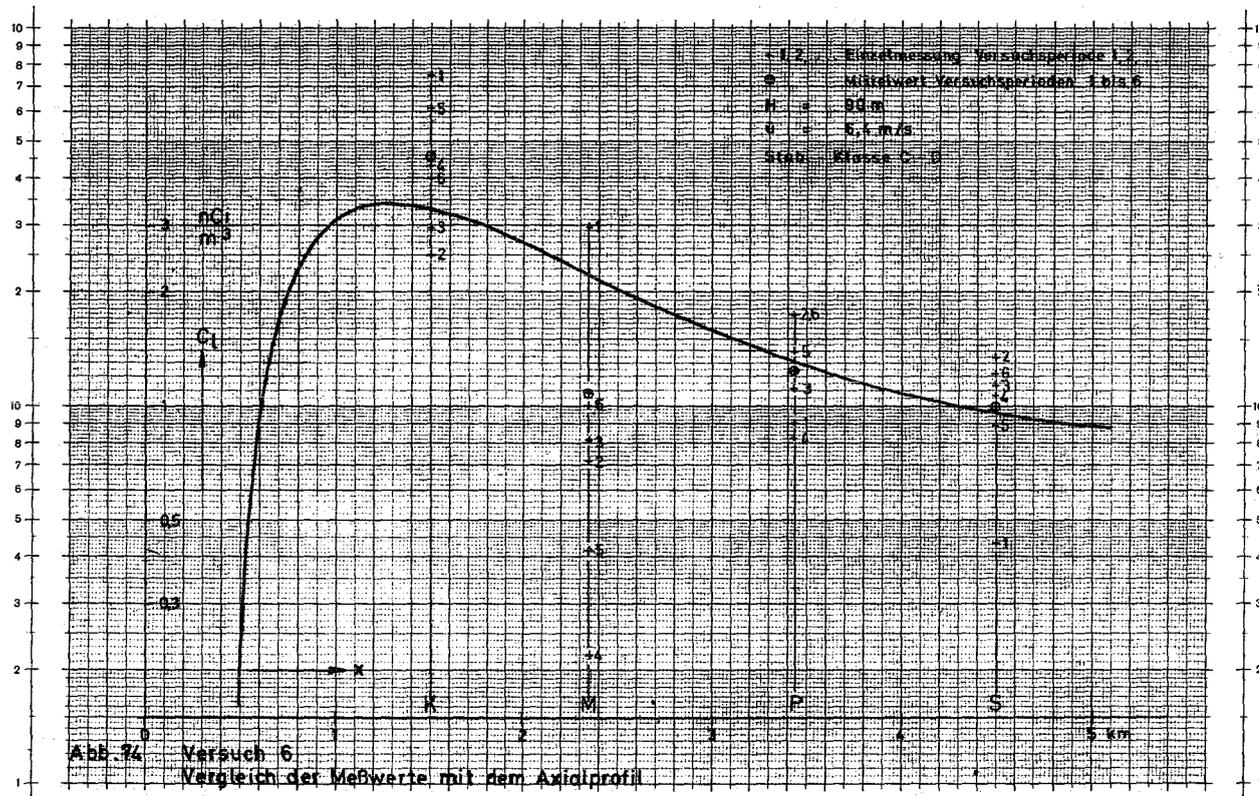
fortgesetzt. Während der Emissionszeit von 2 bis 3 h wurden in Sammelzeiten von je 20 Minuten die Konzentrationen an jeder Meßstelle bestimmt. Entgegen dem ersten Versuch, bei dem 4 bis 5 Meßstellen auf einem konzentrischen Bogenstück aufgebaut waren, konnte bei den Versuchen 2 bis 7 diese günstige Aufstellung der Sammelstellen nicht verwirklicht werden. Dadurch sind die Schwierigkeiten der Auswertung gestiegen. Es wurden drei verschiedene Methoden der Auswertung angewandt:

- Vergleich der Meßwerte mit dem Lateralprofil der entsprechenden Entfernung,
- Vergleich der Meßwerte mit dem Axialprofil,
- Vergleich der angepaßten Meßwerte mit einem Normprofil.

Alle theoretischen Berechnungen beruhen auf der Annahme, daß sich die Ausbreitung der Abgase lateral und vertikal durch Gaußverteilungen beschreiben läßt.

Bei Versuch 6 liegen die "fündigen" Meßstellen vom Emissionspunkt aus etwa in derselben Richtung. Diese Richtung fällt mit der mittleren Windrichtung etwa zusammen. Daher können diese Meßwerte mit dem Axialprofil der Tritium-Konzentration  $C_2$  (in  $nCi/m^3$ ) verglichen werden (Abb. 74). Der Vergleich ergibt folgende Resultate:

- Aus der starken Streuung der Einzelwerte kann geschlossen werden, daß eine Probenahme-Periode von 20 Minuten zu kurz ist, um schon eine ausreichende Mittelung über die Schwankungen der Ausbreitungsparameter - insbesondere die Richtungsschwankungen - zu gestatten. Erst eine Serie von 20-Minuten-Proben bei gleicher mittlerer Windrichtung ermöglicht einen auswertbaren Vergleich (Abweichungen innerhalb eines Faktors 2).
- Im Bereich der höchsten Konzentration sind starke Abweichungen vom theoretischen Profil nach oben möglich.



Das dritte Verfahren gestattet es, die wahrscheinlichsten Ausbreitungsparameter aus allen Meßwerten zusammen zu ermitteln. Die Gaußsche Verteilung der Abgaskonzentration in der Abluftfahne wird so umgeformt, daß die reduzierte Konzentration  $q^*$  eine "genormte" Lateralverteilung, abhängig von  $y/\sigma_y$  darstellt, deren Scheitelwert von  $x$  unabhängig ist.

Die Einzelmeßwerte  $c_1$  sind durch Multiplikation mit  $\sigma_y \sigma_z \exp \frac{1}{2} \left( \frac{H}{\sigma_z} \right)^2$  "entfernungsunabhängig" gemacht. Dadurch können alle Meßwerte eines Versuches in einem Diagramm vereinigt werden (Abb. 75).

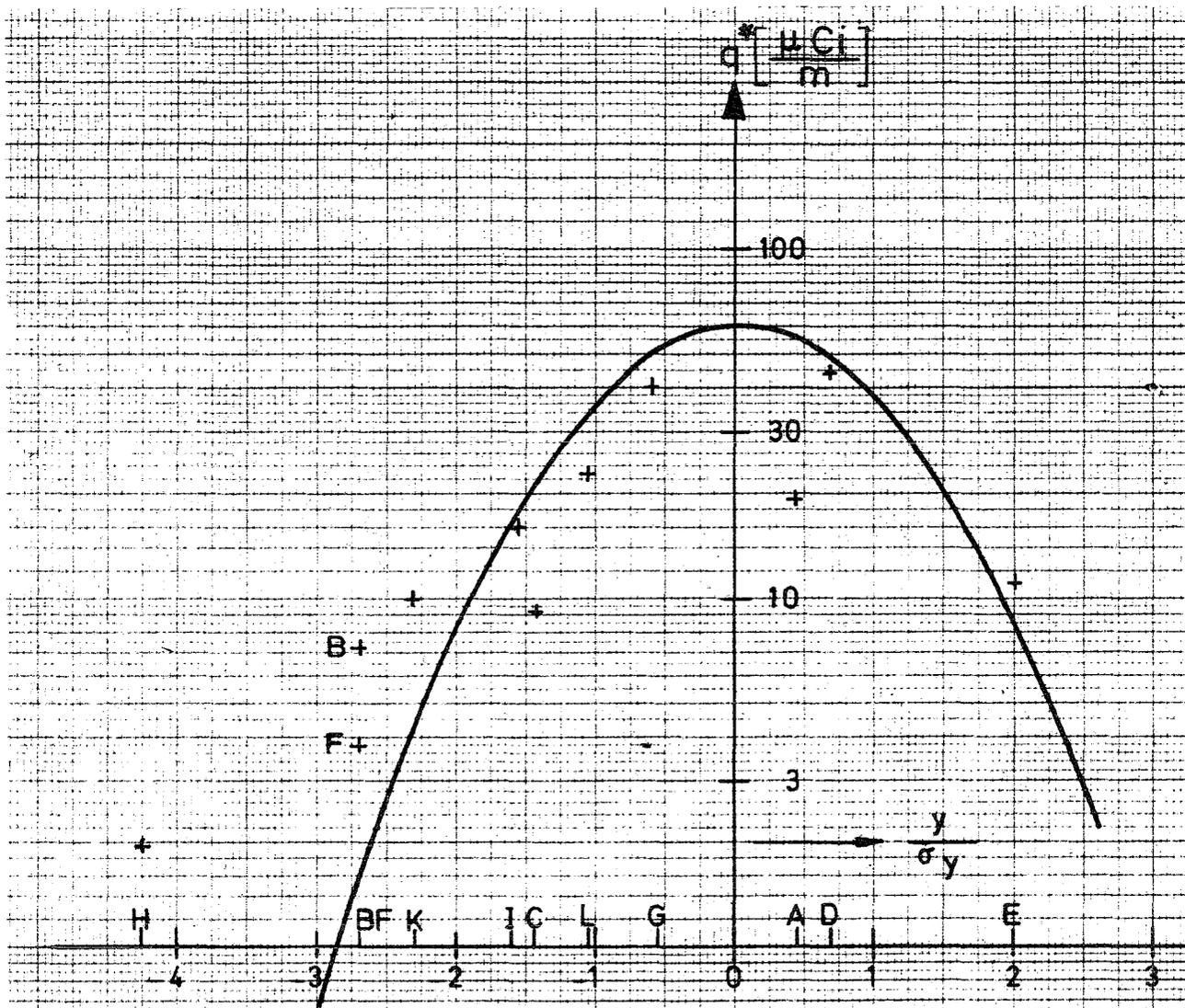


Abb.75 Versuch 7 / 2 - 4

Vergleich der angepassten Meßwerte  
mit einem Norm-Lateralprofil

$H = 70 \text{ m}$

$\bar{u} = 7 \text{ m/s}$

Stab.-Klasse D

Diese Methode hat ihren vollen Wert erst dann, wenn verschiedene Annahmen getroffen werden (z. B. über die Ausbreitungsrichtung, Stabilitätsklasse, effektive Schornsteinhöhe, Verteilungsfunktion) und die resultierenden Diagramme untereinander verglichen werden. Derjenige Parametersatz, bei dem die geringsten Abweichungen zwischen angepaßten Meßwerten und Normkurve auftreten, ist dann von den verglichenen der wahrscheinlichste.

Abbildung 75 zeigt das Ergebnis des Versuchs, durch zweckmäßige Auswahl der Probenahme-Perioden und durch Änderung der Ausbreitungsparameter die Obereinstimmung zwischen Meßwerten und Normprofil zu verbessern. Es ergibt sich eine relativ gute Obereinstimmung mit Ausnahme des Punktes H. Dieser bestätigt die Erfahrung, daß die Abluftfahne stärker streut, als nach den Pasquill/Giffordschen Parametern anzunehmen ist.

Die Diffusionsexperimente zeigen, daß über kurze Zeiträume (im Bereich bis zu 20 Minuten) die Aktivität sehr unregelmäßig verteilt wird und ein statistischer Ausgleich in diesem Zeitraum meist noch nicht erfolgt ist. Daher ist das Ausbreitungsmodell einer Gaußverteilung in diesem Zeitraum nicht oder nur in günstigen Fällen anwendbar. Eine Mittelung mehrerer Einzelmessungen, die nacheinander bei gleichen Ausbreitungsverhältnissen gewonnen wurden, kann die Annäherung an die ideale gleichmäßige Ausbreitung in gewissem Maße verbessern. Die Methode, mehrere Sammelperioden nacheinander durchzuführen, wird daher als günstig und erforderlich angesehen.

Die bisherigen Versuche erbrachten ausreichende Erfahrungen, um die Randbedingungen für eine weitere erfolgreiche Versuchsdurchführung festlegen zu können. Sie zeigten außerdem, daß örtlich starke Abweichungen von der theoretischen Konzentrationsverteilung auftreten können, welche eine besondere Berücksichtigung der Topographie sowie der vertikalen Parameterfelder - Windgeschwindigkeit, Temperatur, Fluktuation - notwendig machen.

## 9. Umweltbelastung und Umweltschutz

Ausgehend von den sich über die vergangenen Jahre erstreckenden Untersuchungen der Belastung der Umgebung des Kernforschungszentrums durch die dort emittierte Aktivität, wendet sich die Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit nun auch allgemeineren Fragen der Umweltbelastung durch Radioaktivität sowie der Reinhaltung der Luft zu. In diesen Rahmen gehören auch Arbeiten, die an anderen Stellen dieses Berichts referiert werden, wie Ausbreitungsuntersuchungen und Diffusionsexperimente. Im folgenden wird über zwei bereits abgeschlossene Untersuchungen berichtet.

### 9.1 Aktivitäts-Abgabe eines schnellen Testreaktors an die Atmosphäre

W. Helm, W. Hübschmann

Im Rahmen der Durchführbarkeitsstudie des FR 3 war die Aktivitätsabgabe eines schnellen natriumgekühlten Brutreaktors bei Normalbetrieb zu untersuchen.

Die Aktivität der Abluft eines natriumgekühlten Reaktors entstammt zum größten Teil dem Schutzgassystem. Ein weiterer Teil kann aus defekten Brennelementen freigesetzt werden, wenn diese in den heißen Zellen aufgearbeitet werden. In der Durchführbarkeitsstudie wurden diese beiden Quellen untersucht.

Im Schutzgas (Argon) befinden sich folgende Aktivitäten:

- aktiviertes Argon
- aus defekten Brennelementen freigesetzte Spaltedelgase.

Alle übrigen Aktivitäten verbleiben im Primärnatrium. Die aus dem Schutzgas unvermeidbar in die Atmosphäre abzugebende Aktivität läßt sich im wesentlichen auf das Krypton beschränken, vorausgesetzt, es werden

- genügend große Verzögerungsstrecken für Spaltedelgase vorgesehen,
- alle vor der Verzögerungsstrecke auftretenden Leckagen minimalisiert und nach Möglichkeit gesammelt.

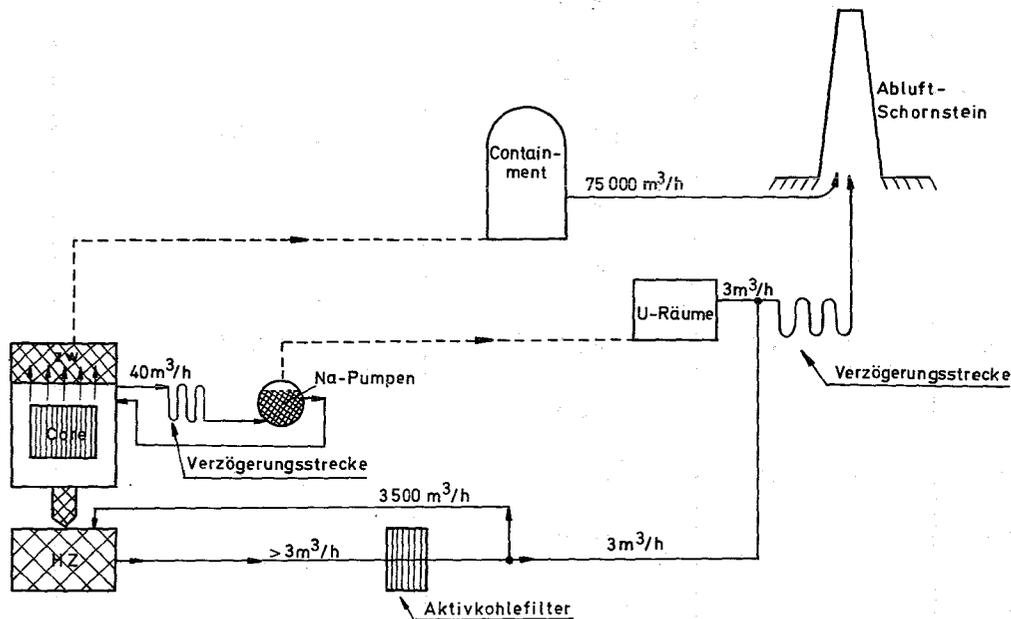


Abb. 76: Fließschema der Leck- und Abgasaktivität

Abbildung 76 zeigt die Wege, auf denen die Aktivität in die Atmosphäre gelangen kann. Die Tabelle 36 zeigt, daß die aus den U-Räumen (Unterdruck-Räume für Natriumkomponenten) über die Verzögerungsstrecke abgegebene Aktivität vernachlässigt werden kann gegenüber der in das Containment diffundierenden und aus diesem unverzögert abgegebenen Aktivität.

Werden Brennelemente oder Bestrahlungsproben in Heißen Zellen aufgearbeitet, so entfällt die absorbierende Wirkung des Natriums. Es muß daher insbesondere das entweichende Jod in einem Umluftsystem aus der Zellenatmosphäre herausgefiltert werden. In der Tabelle 36 sind die Maximalwerte der Aktivitätsabgabe zu Beginn der Entlüftung der Heißen Zellen angegeben.

Nuklid	Abgas-Aktivität aus		
	U-Räumen mCi/h	Containment mCi/h	Heißen Zellen mCi/h
$^{83m}\text{Kr}$	-	3,9	-
$^{85m}\text{Kr}$	-	5,2	-
$^{85}\text{Kr}$	7,8	340	34 200
$^{87}\text{Kr}$	-	4,0	-
$^{88}\text{Kr}$	-	9,5	-
$^{131m}\text{Xe}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	0,4	640
$^{133m}\text{Xe}$	-	1,0	-
$^{133}\text{Xe}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	48	2 300
$^{135m}\text{Xe}$	-	0,5	-
$^{135}\text{Xe}$	-	27	-
$^{138}\text{Xe}$	-	1,5	-
$^{131}\text{J}$	-	-	2,4
$^{41}\text{Ar}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	0,8	-

Tab. 36:

Die Umgebungsbelastung liegt - bei ungünstigen Annahmen und unter Einbeziehung der Abgabe aus Heißen Zellen - unter 1 mrem/Jahr im Aufpunkt höchster Belastung.

9.2 Auswirkung einer grösseren Kohlenmonoxid-Freisetzung auf die Bevölkerung einer Grossstadt

W. Comper, W. Hübschmann

Im Rahmen einer Abschätzung von Risiken, denen die Bevölkerung eines hochindustrialisierten Landes ausgesetzt ist, wurden die Grenzbedingungen untersucht, unter denen die Freisetzung von Kohlenmonoxid (CO) zu schwerwiegenden Auswirkungen auf die Bevölkerung führen kann.

Um eine obere Grenze des Risikos abzuschätzen, wurden folgende bewußt pessimistischen Annahmen getroffen: Die CO-Quelle, ein Gasbehälter mit 3 000 Nm<sup>3</sup> Inhalt, liegt inmitten einer Großstadt (Bevölkerungsdichte ca. 10 000 je km<sup>2</sup>). Eine Inversionsschicht befindet sich in niedriger Höhe. Die Driftgeschwindigkeit der CO-Wolke beträgt nur 0,2 - 0,5 m/s. Die CO-Menge strömt während einer Stunde gleichmäßig aus.

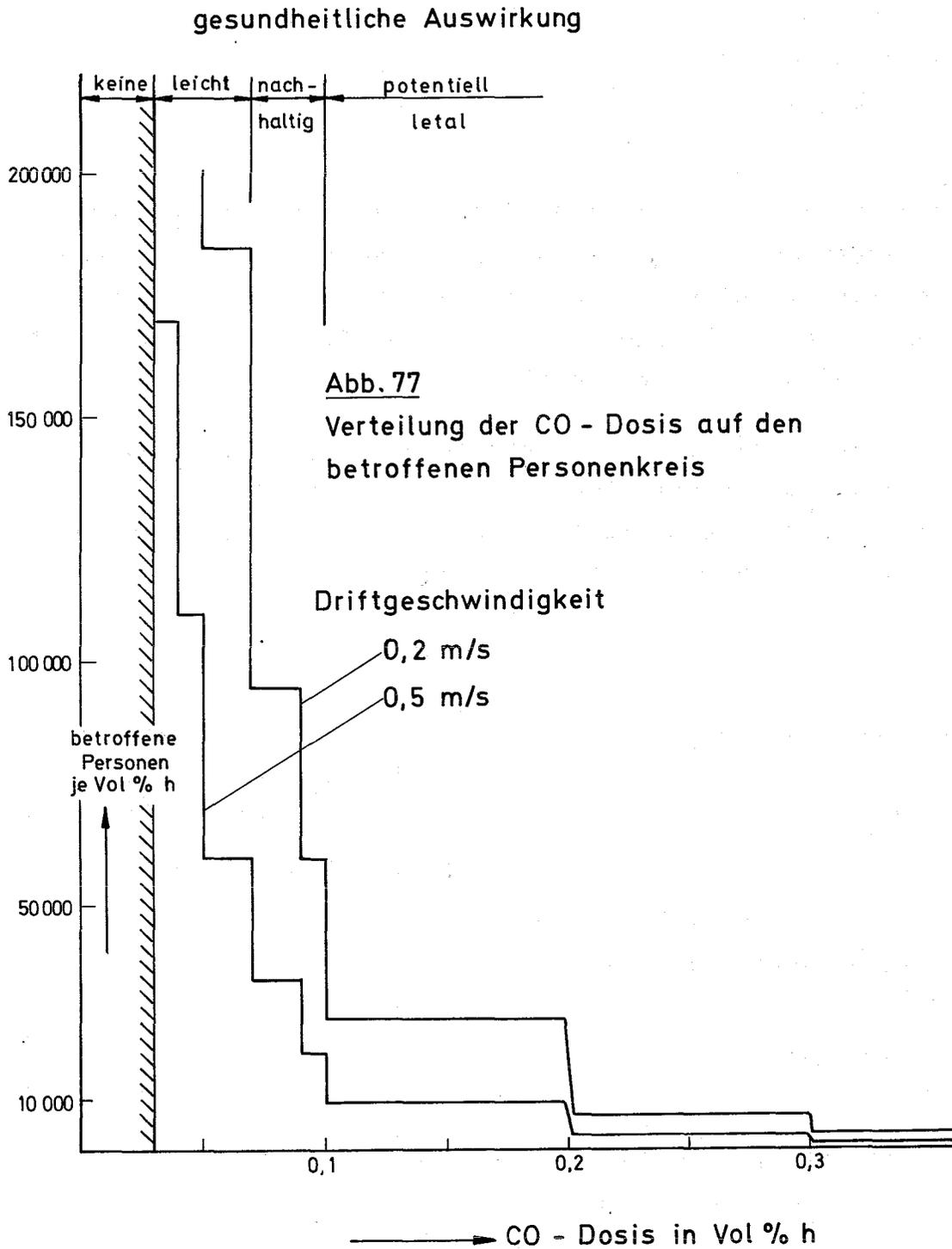
Die Wirkung des eingeatmeten CO auf den Menschen kann aus Literaturwerten abgeschätzt werden. Danach kann angenommen werden, daß die Wirkung proportional der Dosis (Konzentration mal Inhalationsdauer) ist und daß etwa von 0,1 vol. % h ab mit letalen Folgen gerechnet werden muß.

Das Feld der Konzentrationsverteilung wurde nach Pasquill sowie Sutton berechnet. Durch Integration wurde die Anzahl der Personen ermittelt, deren Inhalationsdosis oberhalb bestimmter Grenzwerte liegt (Tab. 37).

Wirkung	Dosis D in vol. % h	Anzahl der betroffenen Personen bei 0,5 m/s Driftgeschwindigkeit
letale Wirkung möglich	$0,1 \leq D$	1 700
nachhaltige Schäden	$0,07 \leq D < 0,1$	900
leichte Schäden	$0,03 \leq D < 0,07$	4 000

Tab. 37

Die Verteilung der CO-Dosis auf den betroffenen Personenkreis zeigt Abbildung 77. Das Integral unter den Treppenkurven ergibt die Anzahl der Personen.



Die Untersuchung hat gezeigt, daß im obigen, bereits extremen Beispiel nur bei pessimistischen Annahmen ein größerer Personenkreis von schweren Schäden mit u. U. letaler Folge bedroht ist. Wegen der starken Variationsbreite der einzelnen Parameter geben die numerischen Ergebnisse nur einen ungefähren Anhaltspunkt für mögliche Folgen. Wird einer der linear eingehenden Parameter (Konzentration, freigesetzte Menge, Zeit) um eine Größenordnung in der günstigen Richtung verändert, so sind nur noch insignifikante Personengruppen der Gefahr einer Gesundheitsschädigung ausgesetzt.

## 10. Bibliographie

### 10.1 Veröffentlichungen 1970

- (1) H. Fessler, E. Piesch  
Eine 2000-Ci-Cäsium-Bestrahlungsanlage für Kalibrierzwecke.  
Kerntechnik, 12 (1970) S. 298-302  
KFK-Bericht 1287 (Juli 70)
- (2) W. Hübschmann, H. Lenhardt  
Bestimmung der dynamischen Eigenschaften eines Schalenstern-Anemometers.  
KFK-Bericht 1250 (Juli 70)  
(mit LEM)
- (3) W. Jacobi, W. Schikarski, J.G. Wilhelm  
Untersuchungen und Erfahrungen über die Behandlung radioaktiver Luftverunreinigungen.  
Bericht über das IAEA-Symposium "Operating and Developmental Experience in the Treatment of Airborne Radioactive Wastes", New York, August 26-30, 1968  
Staub, 29 (1969) S. 123-126 (mit IAR)
- (4) H. Kiefer  
Ausbildung.  
Second International Congress of the International Radiation Protection Association, Brighton, May 3-8, 1970
- (5) H. Kiefer  
Einhaltung der Vorschriften und der Nachweis der Strahlung.  
SVA-Tagung "Sicherheit von Kernkraftwerken und die Probleme der Radioaktivität", 5./6.11.1970, Bern  
Neue Technik, B5 (1970) S. 172-175

- (6) H. Kiefer, W. Koelzer u.a.  
Jahresbericht 1969 der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit.  
KFK-Bericht 1158 (März 1970)
- (7) H. Kiefer, L.A. König, M. Winter  
Untersuchung der atmosphärischen Ausbreitung mit Hilfe von Tritium.  
Kerntechnik, 12 (1970) S. 212-218
- (8) H. Kiefer, R. Maushart  
Radiation Protection Measurement.  
Pergamon Press, Oxford - New York (1971)
- (9) H. Kiefer, R. Maushart, V. Mejdahl  
Radiation Protection Dosimetry.  
Aus: F.H. Attix, W.C. Roesch, E. Tochilin (Hrsg.):  
Radiation Dosimetry.  
2. ed. Vol. 3. New York: Academic Pr. 1969, S. 557-616  
Deutsche Übersetzung:  
Strahlenschutzmessungen. Grundlagen, Methoden, Geräte.  
GIT, 14 (1970) S. 321-327, 426-431, 651-663, 823-825,  
1044-1050
- (10) H. Kiefer, G. Möhrle  
Erfahrungen bei Zwischenfällen mit Transuranen.  
Euratom/ENEA-Seminar "Strahlenschutzprobleme beim Umgang mit Transuranelementen", 21.-25.9.1970,  
Karlsruhe  
Proceedings 1970 (mit Med.)
- (11) H. Kiefer, E. Piesch  
Anwendung eines differentiellen Abtastverfahrens für Phosphatgläser in der Personendosimetrie.  
Second International Congress of the International Radiation Protection Association, Brighton,  
May 3-8, 1970  
KFK-Bericht 1323 (Dez. 70)

- (12) L.A. König  
Experience in Radiation Protection Gained in a Major Contamination Incident.  
Second International Congress of the International Radiation Protection Association, Brighton,  
May 3-8, 1970  
Abstract: Health Physics, 19 (1970) S. 149
- (13) L.A. König  
Erfahrungen bei der Luftüberwachung auf radioaktive Aerosole.  
Atompraxis, 16 (1970) S. 320-324  
KFK-Bericht 1221 (Sept./Okt. 70)
- (14) L.A. König  
Der Beitrag austauscharmer Wetterlagen zur Strahlenbelastung der Umgebung kerntechnischer Anlagen.  
KFK-Bericht 1336 (Dez. 70)
- (15) K.H. Lindackers, K. Aurand, O. Hug, H. Kiefer,  
H. Krämer, J. Seetzen, K.R. Trott  
Kernenergie: Nutzen und Risiko.  
Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart (1970)
- (16) R. Maushart, E. Piesch  
Die Messung energiearmer Röntgenstrahlung im praktischen Strahlenschutz.  
Euratom-Symposium über Strahlenschutzprobleme bei der Emission parasitärer Röntgenstrahlung von elektronischem Gerät, 3.-6. November 1970, Toulouse  
(im Druck)
- (17) E. Piesch  
Anwendung der Interferenzkontrast-Mikroskopie zur Kernspurregistrierung in Festkörpern.  
Zeiss-Informationen 18 (1970) S. 58-60  
KFK-Bericht 1246 (April 70)

- (18) E. Piesch  
Neuere Methoden der Kritikalitätsunfalldosimetrie.  
Atompraxis, 16 (1970) Heft 5  
Direct Information Strahlenschutz 2/70
- (19) E. Piesch  
Personnel Monitoring with Radiophotoluminescent  
Dosimeters.  
International Summer School on Radiation Protection,  
Cavtat, Yugoslavia, September 21-30, 1970  
Externer Bericht 20/70-2 (Nov. 70)
- (20) E. Piesch  
New Development and Aspects in Phosphate Glass  
Dosimetry.  
International Summer School on Radiation Protection,  
Cavtat, Yugoslavia, September 21-30, 1970  
Externer Bericht 20/70-1 (Nov. 70)
- (21) E. Piesch  
Development of New Neutron Detectors for Accidental  
Dosimetry.  
IAEA-Symposium on New Developments in Physical and  
Biological Radiation Detectors, Vienna,  
November 23-27, 1970, SM-143/31  
(im Druck)
- (22) E. Piesch, A. Schmitt  
Vergleichsmessungen von Neutronen-Unfalldosimetern.  
Atompraxis, 16 (1970) Heft 5  
Direct Information Strahlenschutz 3/70
- (23) H. Schüttelkopf, J.G. Wilhelm  
Zur Prüfung von Jodfilteranlagen.  
Internationale Staubtagung, Bonn, Juni 1970  
(im Druck)

- (24) H. Schüttelkopf, J.G. Wilhelm  
Inorganic Adsorber Materials for Trapping of Fission  
Product Iodine.  
Proceedings of the 11<sup>th</sup> USAEC Air Cleaning Conference,  
Richland, Wash., USA, September 1970  
(im Druck)
- (25) J.G. Wilhelm  
Adsorbermaterialien zur Abscheidung von Spaltjod  
aus den Abgasen kerntechnischer Installationen.  
Reaktortagung, Berlin 1970, Tagungsbericht S. 339-342

10.2 ASS-Berichte 1970, unveröffentlicht

H. Baumgart  
Prototypprüfung des Kontaminationsmonitors H 1359 und  
des Großflächendurchflußzählers HGZ I der Fa. Herfurth,

H. Baumgart  
Bericht über die Erprobung des Luftstaubsammlers  
954-05-45 der Fa. F.C.R.,

B. Burgkhardt  
Taschen-Ratemeter-Warngerät AS 9 der Fa. Bandelin,

B. Burgkhardt  
Taschen-Dosisleistungs-Warngeräte,

B. Burgkhardt, E. Piesch  
Vergleichsmessungen von Personendosimetern am  
Zyklotron,

W. Comper, W. Hübschmann, K. Nester  
Auswertung der Tritium-Ausbreitungsversuche Nr 3 bis 7,

W. Comper, W. Hübschmann

Auswirkung einer größeren CO-Freisetzung auf die  
Bevölkerung einer Großstadt,

E. Dietrich, L. König

Bedarf der GfK an Strahlenschutzmeßgeräten im  
Kernforschungszentrum Karlsruhe,

E. Dietrich, L. König, E. Linz

Erfahrungen über die Aktivitätsverteilung in  
Kontaminationen,

H. Edelhäuser

Prototypprüfung eines Großflächendurchflußzählrohres  
der Fa. Herfurth,

H. Edelhäuser, H. Michel

Fehlermöglichkeiten bei der Aufnahme von Zählratenkenn-  
linien an Großflächendurchflußzählrohren mit Hilfe des  
automatischen Plateauschreibers,

H. Elbel

Berechnung der Dosisleistung in der Umgebung eines mit  
radioaktivem Abfall gefüllten Rollreifenfassens,

H. Elbel

Berechnung der Abschirmung für die Heiße Zellen-Anlage  
VERA,

H. Elbel

Vergleich gemessener und gerechneter Dosisleistungswerte,

H. Fessler

Modellversuch zur Messung des mittleren Durchmessers einer  
<sup>41</sup>Ar-Abluftfahne mittels Comptonspektrometer,

W. Helm

Abschirmungsberechnung an einer Faßkammer für radioaktiven  
Abfall,

W. Helm

Ausgangsdaten für die Inventarbeurteilung eines Brennelements nach einer Standzeit  $\tau = 3a$ ,

W. Hübschmann

Arbeiten und Aufgaben der Gruppe Meteorologie,

D. Kugel

Luftstaub- und Niederschlagsmessungen anlässlich des oberirdischen Kernwaffentests in China im Oktober 1970,

H. Michel

Prüfanweisung für die Jordankammer AGB-10K-G-SR,

H. Michel

Untersuchung der Fehlanzeige von Strahlenmeßgeräten in starken magnetischen Feldern,

H. Michel

Prüfanweisung für das Dosisleistungsmeßgerät Graetz X-50,

H. Michel

Prüfanweisung für das Dosisleistungsmeßgerät Total 6150,

H. Michel

Prüfanweisung für das Dosisleistungsmeßgerät Total 6112 B,

H. Michel

Prüfanweisung für das Dosisleistungsmeßgerät Graetz X-500,

H. Michel

Beschreibung eines Picoamperemeters für den Anschluß einer  $\beta$ -Sonde der Fa. Nuclear Enterprises Ltd.,

J. Pawelzik

Verfahren zur Herstellung von gleichmäßig dicken Oxidschichten auf elektrolytisch abgeschiedenen Plutonium-Proben,

J. Pawelzik

Erprobung eines Durchfluß-Flächenzählers in Verbindung mit einem elektrostatischen Relais,

E. Piesch, A. Schmitt

Untersuchungen am Airborne Scintillometer des Deutschen Wetterdienstes und J-131-Kalibriermessungen am meteorologischen Mast des KFZK,

E. Piesch

Prüfung des CEC-Phosphatglasdosimeters auf seine Eignung als Neutronenaktivierungsdosimeter,

H. Röber, H. Schüler

Eine verbesserte Anordnung zum Eindampfen von Abwasserproben,

H. Röber

Ein Schreiberverstärker für den Anschluß an Strahlenmeßgeräte,

A. Schmitt

Wahl eines Vielkanalanalysators für die Halbleiter-Gammaspektroskopie,

H. Schüler

Tritiumkonzentrationswerte in der Umgebung des KFZK nach erhöhten Emissionsraten des MZFR und des FR 2,

H. Schüttelkopf

Die  $^{131}\text{J}$ -Bestimmung im Fall-Out des chinesischen Kernwafferversuches vom 14.10.70,

E. Windbühl

Unfallstatistik 1969,

M. Winter

Bestimmung der atmosphärischen Ausbreitung von tritiiertem Wasserdampf in der Umgebung nach Abgabe über den Abluftkamin des MZFR - Versuche 3, 4 und 5 am 16. und 17.10.1969,

M. Winter

Bestimmung der atmosphärischen Ausbreitung von tritiiertem Wasserdampf in der Umgebung nach Abgabe über den Abluftkamin des MZFR - Versuch 6 am 29.10.1969,

M. Winter

Bestimmung der atmosphärischen Ausbreitung von tritiiertem Wasserdampf in der Umgebung nach Abgabe über den Abluftkamin des MZFR - Versuch 7 am 31.10.1969,

