

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

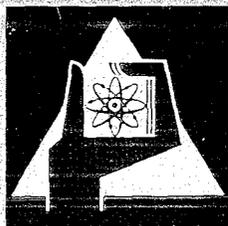
März 1970

KFK 1158

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Jahresbericht 1969

H. Kiefer, W. Koelzer



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

März 1970

KFK 1158

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

JAHRESBERICHT 1969

Redaktion: H. Kiefer, W. Koelzer

Beiträge von:

E. Bolender	W. Hübschmann
W. Comper	H. Kiefer
L. Dierkes	W. Koelzer
E. Dietrich	L. König
H. Edelhäuser	E. Piesch
H. Elbel	A. Schmitt
H. Fessler	H. Schüttelkopf
E. Heist	G. Stäblein
W. Helm	J. Wilhelm
	M. Winter

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

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 1969 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 1969, 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 1969 et donne des renseignements relatifs aux nouveaux résultats d'études et aux réalisations des différents groupes de travail du Service.

Manuskript fertiggestellt am 31. 3. 1970

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
1. Aufgabengebiete und Organisation der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit	1
2. Administrative Aufgaben	4
2.1 Übertragung von Verantwortung und Pflichten	4
2.2 Beratung von Behörden und Institutionen	7
2.3 Genehmigungsverfahren	7
2.4 Interne Regelungen	8
2.5 Information und Ausbildung	10
2.6 Überwachung der Auflagen	11
2.7 Dichtigkeitsprüfungen	14
3. Strahlenschutzüberwachung	15
3.1 Arbeitsplatzüberwachung	15
3.2 Überwachung der Ableitungen	19
3.2.1 Abwasser-Überwachung	19
3.2.2 Abluft-Überwachung	27
3.3 Umgebungsüberwachung	29
3.4 Personenüberwachung	40
3.4.1 Externe Dosis	40
3.4.2 Inkorporationsmessungen	42
4. Strahlenschutzmeßmethoden	45
4.1 Dosisleistungsmessungen	45
4.1.1 Kalibrierung verschiedener NaJ(Tl)-Kristalle auf ^{131}J -Flächenaktivität	45

4.1.2	Dosisleistungsbestimmung der terrestrischen Strahlungskomponenten mit einem GM-Zählrohr	47
4.1.3	Die γ -Diskriminierung von Rem-countern	48
4.2	Dosimetrie	49
4.2.1	Phosphatglasdosimetrie	49
4.2.1.1	Methode zur differentiellen Auswertung von Phosphatglasdosimetern	49
4.2.1.2	Personenüberwachung mit Film- und Glasdosimetern	51
4.2.1.3	Vergleichsmessungen mit Personendosimetern in der Routinedosimetrie	54
4.2.1.4	Verbessertes Konzept einer vom Strahlungsfeld und der Körperorientierung unabhängigen Personendosimetrie	56
4.2.2	Thermolumineszenzdosimetrie	59
4.2.2.1	Lithium-Fluorid-Dosimeter zur Teilkörperdosimetrie und zur Dosimetrie in gemischten Strahlungsfeldern	59
4.2.2.2	Kalzium-Fluorid-Dosimeter für Niederdosismessungen der Umgebungsstrahlung	61
4.2.3	Festkörperspurendetektoren	62
4.2.4	Exoelektronendosimetrie	63
4.3	Messung von Einzelnukliden	64
4.3.1	γ -Halbleiterspektroskopie	64
4.3.2	α -Spektroskopie	66
4.3.3	Messung von ^{131}J und ^{85}Kr	68
4.3.4	Plutonium-Analyse	70
5.	Strahlenschutzmeßgeräte	73
5.1	Wartung und Reparatur	73
5.2	Kalibrierung	75
5.3	Erprobung	75
5.4	Untersuchung von Materialien zum Bau von Low-Level-Zählern	76

5.5 Elektronische Entwicklungen	77
5.5.1 Zählrohrplateau-Schreiber	77
5.5.2 Zählrohrmeßkopf mit log-Ratemeter für den Meßbereich 10 mR/h bis 1000 R/h	78
5.5.3 Untersuchungen am GM-Zählrohr BZ 120	79
5.5.4 Ein Schreiberverstärker für den Anschluß an Strahlenmeßgeräte	82
5.5.5 Selbstanrufender Signalgeber für Strahlenpegelüberwachungen	84
6. Jodfilterprogramm	85
6.1 Abscheidung von radioaktivem Methyljodid mit festen Adsorbermaterialien	85
6.1.1 Versuche mit Linde Molekularsieben	85
6.1.1.1 Abhängigkeit des Abscheidegrades von der Beladung und Konzentration	86
6.1.1.2 Abscheidung von Methyljodid durch LMS 13 X-Ag bei hohen Drücken und Temperaturen	88
6.1.1.3 Beständigkeit von LMS 13 X-Ag im Heißdampf bei hoher Temperatur und hohem Druck	88
6.1.1.4 Variation des Silberanteils im Linde Molekularsieb 13 X	89
6.1.2 Abscheidung von ^{131}J (in Form von $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ im Trägergas) an Molekularsieben verschiedenen Typs	90
6.1.3 Abscheidung von ^{131}J (in Form von $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ im Trägergas) an imprägnierten Katalysatorträgern	91
6.1.4 Jodimprägnierte Aktivkohlen	93
6.1.4.1 Versuche unter Standardbedingungen	93
6.1.4.2 Variation der Jodmenge zur Imprägnation	94
6.1.5 Alterung von Adsorbermaterialien	95
6.1.6 Versuche zur Abscheidung von Spaltjod unter GAU-Bedingungen	96
6.2 Vor Ort-Prüfungen an Jodfilteranlagen	98

7. Theoretische Strahlenschutzfragen	100
7.1 Abschirmberechnungen	100
7.1.1 Abschätzung der Abschirmung eines Abfallbehälters	100
7.1.2 Berechnung einer Abschirmung für einen Sammelbehälter, der Abfallfässer einer bestimmten Oberflächendosisleistung enthält	100
7.2 Aktivitäts- und Dosisberechnungen	102
7.2.1 Spaltproduktinventar	102
7.2.1.1 Spezifische Aktivität bei Bestrahlungsende in Abhängigkeit von der Anreicherung	102
7.2.1.2 Spaltproduktaktivität als Funktion der Abklingzeit	103
7.2.1.3 Theoretisches γ -Spektrum eines unverfälschten Spaltjodgemisches	105
7.2.2 Festlegung von Warnschwellen für Abluftüberwachungsanlagen	106
7.2.3 Berechnung der Isoplethen für Stabilitätskategorien A bis F	106
7.3 Kreislaufberechnungen	107
7.3.1 Sicherheitsbetrachtungen zum Projekt FR 2/58	107
7.3.2 Sicherheitsbetrachtungen zum Projekt FR 2/55	109
7.4 Reaktorsicherheitsfragen	111
7.4.1 Auswirkung der direkten γ -Strahlung aus dem Sicherheitsbehälter des FR 2 bei einem Unfall	111
7.4.2 "Rod-ejection"-Unfall beim HDR	112
7.4.3 Kernnotkühlung des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN)	112
7.4.4 Thermischer Lift	114
7.5 Rechenprogramme	117
8. Meteorologie	119
8.1 Instrumentierung des Meßmastes	119
8.2 Datenspeicherung	122

8.3 Untersuchungen zur Struktur der vertikalen Windverteilung	123
8.4 Auswertung meteorologischer Daten	126
8.5 Ausbreitungsversuche	130
9. Unfälle und Zwischenfälle	132
9.1 Unfallmeldungen	132
9.2 Alarmfälle	133
9.3 Besondere Vorkommnisse	133
10. Verzeichnis der Veröffentlichungen im Jahre 1969	135

1. Aufgabengebiete und Organisation der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

H. Kiefer, W. Koelzer

Nach einer Umorganisation im Frühjahr 1969 wurde die Durchführung und Gewährleistung des Strahlenschutzes und der technischen Sicherheit auf konventionellem und nuklearem Gebiet im Kernforschungszentrum Karlsruhe zentral der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit übertragen. Ihr Leiter ist gleichzeitig Sicherheitsbeauftragter der Gesellschaft für Kernforschung.

Zur Durchführung dieser Aufgaben ist die Abteilung in 5 Fachbereiche gegliedert, deren Tätigkeitsgebiete im folgenden erläutert werden.

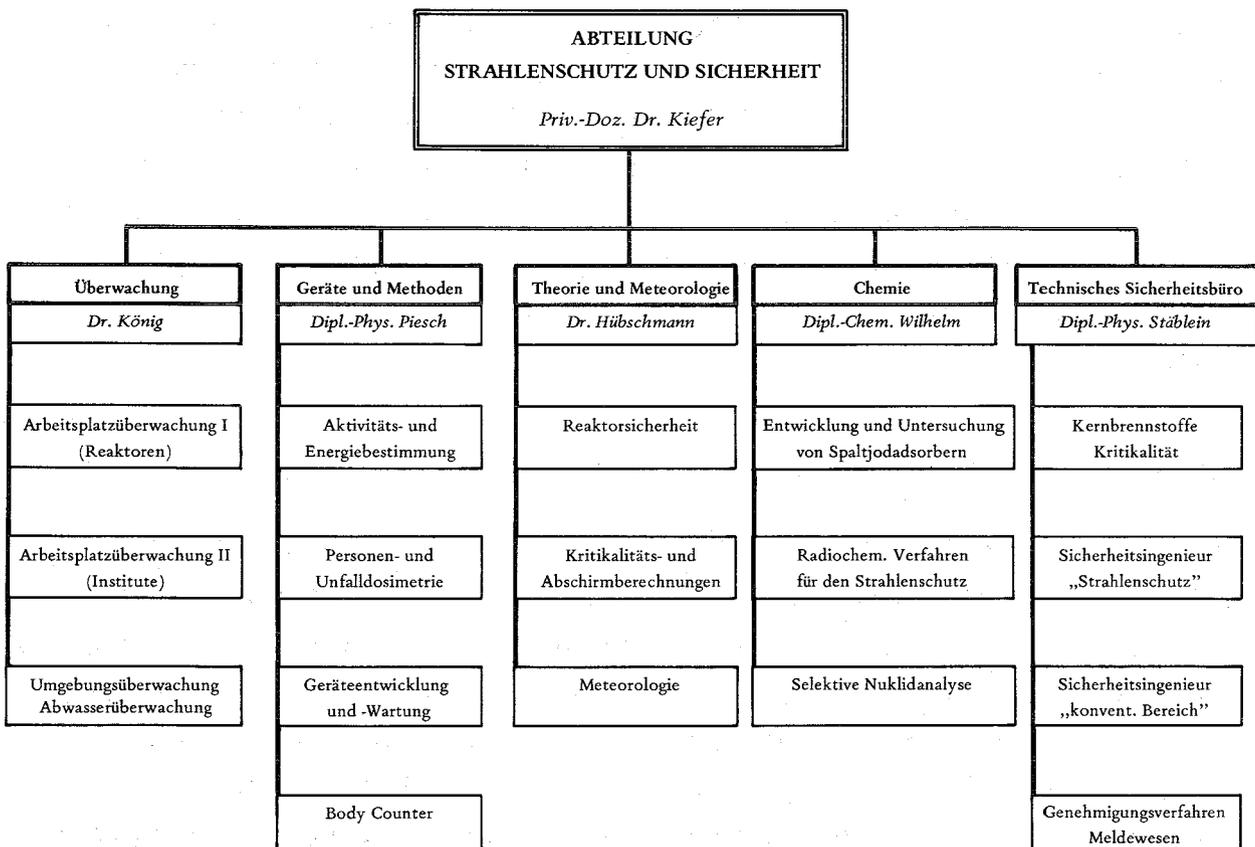


Abb. 1: Organisationsplan der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

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 anfallender 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 Hochdosis Eichstandes 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.

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 Abschirmberechnungen. 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 wird ein on-line Computer installiert.

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 kommt die Prüfung und Erprobung radiochemischer Verfahren für Strahlenschutz Zwecke und die Durchführung radiochemischer Arbeiten innerhalb der Gesamt-Abteilung.

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.

Der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit gehören z. Zt. 140 Mitarbeiter an, darunter 21 Akademiker sowie 14 Abiturientinnen, die eine zweijährige Berufsausbildung als Strahlenschutzassistentinnen erhalten.

2. Administrative Aufgaben

G. Stäblein

Alle administrativen Aufgaben der Gesellschaft für Kernforschung auf dem Gebiet der technischen Sicherheit werden innerhalb der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit vom Technischen Sicherheitsbüro (TSB) wahrgenommen. Dazu gehört auch die Führung der Geschäfte des Sicherheitsbeirats des Kernforschungszentrums.

Der Begriff technische Sicherheit umfaßt dabei:

- konventionelle Sicherheit,
- Strahlensicherheit
(Strahleneinwirkung von außen und von innen),
- nukleare Sicherheit und Kernbrennstoffsicherung
(Kritikalitätssicherheit und Spaltstoffflußkontrolle).

2.1 Übertragung von Verantwortung und Pflichten

Mit der Ausfertigung der Bestellungsschreiben beantragt das Technische Sicherheitsbüro bei der Geschäftsführung die Übertragung von Verantwortung und Pflichten auf Mitglieder der Sicherheitsorganisation.

- Bestellung zum Betriebsleiter gem. § 775 der RVO
"Der Unternehmer darf die Wahrnehmung aller durch die Unfallverhütungsvorschrift auferlegter Pflichten auf Angehörige seines Unternehmens durch schriftliche Erklärung übertragen."

Diese Bestellung erfolgt für einzelne Institute und Abteilungen mit Ausnahme zentral geregelter Versorgungseinrichtungen. Auch übertragen werden die Pflichten, neue Einrichtungen zur Unfallverhütung zu schaffen. Mängel an bestehenden Einrichtungen sind zu melden.

- Betriebsbeauftragte nach wasserrechtlicher Genehmigung

Nach der geltenden wasserrechtlichen Genehmigung des Innenministeriums Baden-Württemberg wurden ein verantwortlicher Betriebsbeauftragter im Sinne dieser Erlaubnis und ein Strahlenschutzverantwortlicher für die häuslichen und Laborabwässer und Stellvertreter für beide Zuständigkeiten bestellt.

- Sicherheitsbeauftragte gem. § 719 der RVO

"In Unternehmen mit mehr als 20 Beschäftigten hat der Unternehmer einen oder mehrere Sicherheitsbeauftragte zu bestellen. Die Bestellung hat unter Mitwirkung des Betriebsrates zu erfolgen. - Die Sicherheitsbeauftragten haben den Unternehmer bei der Durchführung des Unfallschutzes zu unterstützen, insbesondere sich von dem Vorhandensein und der ordnungsgemäßen Benutzung der vorgeschriebenen Schutzvorrichtungen fortlaufend zu überzeugen."

Die Bestellung erfolgt zum Sicherheitsbeauftragten für die konventionelle Unfallverhütung für bestimmte Arbeitsbereiche.

- Strahlenschutzverantwortliche und Bereichsstrahlenschutzverantwortliche

Die Strahlenschutzverantwortung im Sinne der 1. Strahlenschutzverordnung wird dem jeweils geschäftsführenden Direktor eines Institutes oder Leiter einer Abteilung übertragen. Für ihn wird zusätzlich ein Stellvertreter bestellt. Auf Veranlassung des ersten Strahlenschutzverantwortlichen können für gewisse Arbeitsbereiche Strahlenschutzverantwortungen auf Bereichsstrahlenschutzverantwortliche delegiert werden.

- Einsatzleiter vom Dienst gem. Alarmplan (EvD)

Der Einsatzleiter vom Dienst im Sinne des Alarmplanes der Gesellschaft für Kernforschung für Unfälle und sonstige Schadensfälle im Kernforschungszentrum Karlsruhe ist zur Zeit im allgemeinen mit dem jeweils diensttuenden Schichtleiter am FR 2 identisch.

- SNEAK-Schichtingenieur

Nach Genehmigungsbescheid für die Schnelle-Null-Energie-Anordnung Karlsruhe (SNEAK) ist ein Schichtingenieur nach Vorschlag der Betriebsleitung zu bestellen.

Tab. 1: Bestellungen

	neu 1969	Änderung 1969	Gesamt am 31.12.69
Betriebsleiter nach RVO	30	22	160
Betriebsbeauftragte nach wasserrecht- licher Genehmigung	6	5	6
Sicherheitsbeauf- tragte nach RVO	11	13	50
Strahlenschutzver- antwortliche	12	7	57
Bereichsstrahlen- schutzverantwortliche	5	3	16
Einsatzleiter vom Dienst	2	2	8
SNEAK-Schichtingenieure	1	1	4

2.2 Beratung von Behörden und Institutionen

Informationsquellen über bestehende gesetzliche Regelungen, behördliche Anordnungen und Regeln der Technik sind neben dem einschlägigen Schrifttum Kontakte zu internationalen, regionalen und nationalen Organisationen, die Regelungen auf dem Sicherheitswesen empfehlen oder anordnen.

So haben Mitarbeiter der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit in Einzelfällen durch Vorträge und Teilnahme an Beratungen zum Erfahrungsaustausch mit Behörden und Institutionen beigetragen (s. Tab. 2).

Tab. 2: Behördenberatung

Bei		zum Thema
IAEO	Vortrag	Unfalldosimetrie
BM-Verkehr	Sitzung	Transporte r.a. Stoffe
DNA/FNKe	Sitzung	Sicherheitszeichen in kerntechnischen Betrieben
V.d. TÜV	Entwurf TÜV-Merkbl.	Hebezeuge in kerntechnischen Anlagen

2.3 Genehmigungsverfahren

Das Technische Sicherheitsbüro prüft den erforderlichen Umfang der von den Instituten und Abteilungen beantragten Bau-, Wasser- und atomrechtlichen Genehmigungen bezüglich der sicherheitstechnischen Konsequenzen, trifft die auf Grund des Prüfungsergebnisses für erforderlich gehaltenen innerbetrieblichen

Maßnahmen und führt in Zusammenarbeit mit der Rechtsabteilung der Gesellschaft den Schriftwechsel mit den zuständigen Genehmigungsbehörden, soweit dies zur Klärung sicherheitstechnischer Auflagen, Erwirkung von Ausnahmegenehmigungen oder Erteilung von Genehmigungen erforderlich ist. Die Bearbeitung von Anträgen mit den jeweils zuständigen Instituten und Abteilungen führten im einzelnen zu folgenden Genehmigungen (s. Tab. 3).

Tab. 3: Genehmigungen (einschl. Ergänzungsbescheide)

	neu 1969	Gesamt am 31.12.69
nach Baurecht		24
nach Wasserrecht		1
nach Atomrecht		
Umgang mit radioaktiven Stoffen	5	33
Umgang mit radioaktiven Stoffen einschl. Kern- brennstoffen	6	27
Lagerung	1	1
Transport	1	1
Errichtung	3	20
Probetrieb		3
Betrieb	2	6

2.4 Interne Regelungen

Durch Übertragung von gesetzlichen Regelungen, behördlichen Anordnungen und Regeln der Technik auf interne Sicherheitsregelungen, Richtlinien, Einsatzpläne und Betriebsanweisungen wurde wichtiges Informationsmaterial geschaffen.

Sicherheitsvorschriften, Arbeitsregeln und besondere Einrichtungen des Betriebs, die jedem Mitarbeiter bekannt sein sollten, sind vom Technischen Sicherheitsbüro in der allgemeinen Sicherheitsregelung für das Kernforschungszentrum Karlsruhe zusammengestellt worden. Diese Regelung wurde nach Erfordernis dem Stand der Entwicklung angepaßt.

Die allgemeine Sicherheitsregelung wurde durch spezielle Sicherheitsregelungen ergänzt. So wurde der Einsatzplan mit Regeln über die von der Sicherheitsorganisation bei Zwischenfällen zu treffenden Maßnahmen in einer Neuauflage geändert und erweitert. Insbesondere wurde dabei für die Einsatzleiter vom Dienst ein Anhang mit Auslösekriterien für die Alarmstufe III geschaffen, die sich an Meßwerten der Radioaktivität in der Abluft orientieren. Der Plan und Aufbau der Sicherheitsorganisation wurde dem neuesten Stand des Einsatzwesens angeglichen.

Für den Gebrauch der im Rahmen des Einsatzwesens vorgesehenen besonderen Kommunikationsmittel wurden Richtlinien für die Benutzer ausgearbeitet und Teilnehmerverzeichnisse nach dem jeweils neuesten Stand gefertigt.

Hierzu gehören:

- das Netz der Notrufvermittlung (Rote Telefone) mit 50 Anschlüssen direkt zur Alarmzentrale,
- die drahtlose Personenrufanlage (UKW-Ruf) mit zur Zeit 26 Teilnehmern,
- das Gegensprechfunknetz mit zur Zeit 40 Geräten auf 3 verschiedenen Frequenzen,
- die Lautsprecheranlage in allen Instituten und Abteilungen.

Für Einsatz und Brandbekämpfung wurden für die einzelnen Gebäude des Kernforschungszentrums entsprechende Planunterlagen erstellt.

Zur Zeit liegen für 7 Gebäude detaillierte Pläne für Einsatz und Brandbekämpfung mit Text und für 100 Gebäude bzw. Gebäudeteile Planzeichnungen und technische Angaben für Einsatzzwecke vor.

2.5 Information und Ausbildung

Das Technische Sicherheitsbüro hat auf dem Gebiet der technischen Sicherheit eine beratende Funktion für alle Institute und Abteilungen der Gesellschaft und für die mit ihr durch Sicherheitsvereinbarungen verbundenen Institutionen auf dem Gelände des Kernforschungszentrums. Es informiert über bestehende Regelungen und Vorschriften (siehe auch Tab. 4) und berät bei der Planung von Bauten, Anlagen und Experimenten hinsichtlich der Berücksichtigung von sicherheitstechnischen Erfordernissen.

Tab. 4:

Schrift	Empfänger
Sammlung von Unfallverhütungsvorschriften	Institute und Abteilungen
Allgemeine Sicherheitsregelung	Institute und Abteilungen, Behörden, neue Mitarbeiter
Alarmplan und Aufbau der Sicherheitsorganisation	Institute und Abteilungen, Einsatzdienste, Behörden
Allgemeine Richtlinien zum Umgang mit Plutonium	Institute, Behörden

Monatlich findet für neueingestellte Mitarbeiter eine Sicherheitsbelehrung mit Demonstrationen in der Schule für Kerntechnik statt. Im Rahmen der Unfallverhütung fanden Lehrgänge für Bauaufseher und Montagepersonal, Sicherheitsbeauftragte nach RVO, Feuerwehrleute, Elektriker und Fahrer von Flurförderzeugen statt. Besonders zu erwähnen sind 4 Natriumbrand-Feuerlöschübungen, um Erfahrungen bei der Bekämpfung von Metallbränden zu sammeln.

Im Rahmen der Unterweisung der Einsatzleiter werden regelmäßig Ortsbegehungen durchgeführt, Zwischenfälle besprochen und Einsatzübungen veranstaltet. Drei größere Übungen wurden unter Beteiligung der Einsatztrupps im Dekontaminationsbetrieb, in einem "α-kontaminierten" Chemielabor, und in einer "brennenden" Eichhalle durchgeführt.

2.6 Überwachung der Auflagen

Das Technische Sicherheitsbüro hat die im Rahmen von Genehmigungen verfügbaren Auflagen zu überwachen. Es übt hierbei eine Kontrollfunktion aus.

Im Jahr 1969 fanden folgende Begehungen durch die Aufsichtsbehörde statt, wobei die Herren stets von einem Beauftragten des Technischen Sicherheitsbüros begleitet werden (Tab. 5).

Behörde	Zahl der Begehungen
Euratom	7
Atomic Energy Control Board Kanada	2
Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft	2
Arbeits- und Sozialministerium Baden-Württemberg	12
Gewerbeaufsichtsamt Karlsruhe	25
Landesinstitut für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Karlsruhe	4
Branddirektion Karlsruhe	1

Tab. 5: Betriebsbegehungen mit Behörden

Darüber hinaus werden regelmäßig eigene Begehungen der Institute und Abteilungen durch die Sicherheitsingenieure des Technischen Sicherheitsbüros durchgeführt. Im Jahre 1969 wurden 56 Begehungsberichte (35 konventionell, 21 Strahlenschutz) angefertigt und die Verantwortlichen auf Mängel aufmerksam gemacht.

Die Meldestelle ist für die Erfassung, Meldung und Überwachung von radioaktiven Stoffen und Kernbrennstoffen sowie Schwerwasser zuständig. In Erfüllung der Meldepflichten wurden nachfolgende Berichte erstellt (vergl. Abb. 2 bis 7):

- Ausgangsstoffe und besondere spaltbare Stoffe, Monatsmeldung an Euratom und deutsche Behörden,
- Schwerwasser, vierteljährliche Meldung an Euratom,
- radioaktive Stoffe, Monatsmeldung an das Gewerbeaufsichtsamt Karlsruhe,
- Erzeugung radioaktiver Stoffe, Halbjahresmeldung an das Arbeits- und Sozialministerium Baden-Württemberg,
- umschlossene radioaktive Stoffe, Halbjahresmeldung an das Landesinstitut für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Karlsruhe,
- Bestand an radioaktiven Stoffen mit Halbwertszeiten über 100 Tagen, Jahresmeldung an das Arbeits- und Sozialministerium Baden-Württemberg,
- radioaktive Abfälle, Halbjahresmeldung an das Arbeits- und Sozialministerium Baden-Württemberg,
- Verbleib von Kernbrennstoffen kanadischen Ursprungs, vierteljährliche Meldung an den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft,
- Abbrandberechnung der von der USAEC gepachteten Kernbrennstoffe, Halbjahresbericht an Euratom.

Das Technische Sicherheitsbüro überwacht und begleitet außerdem Plutonium-Transporte innerhalb des Kernforschungszentrums und überprüft alle Plutonium-Eingänge.

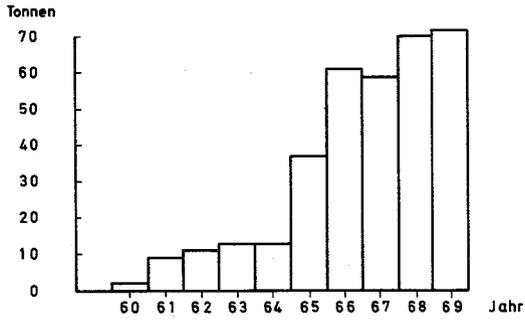


Abb. 2: Ausgangsstoffe - (abger. Uran, Natururan und Thorium)

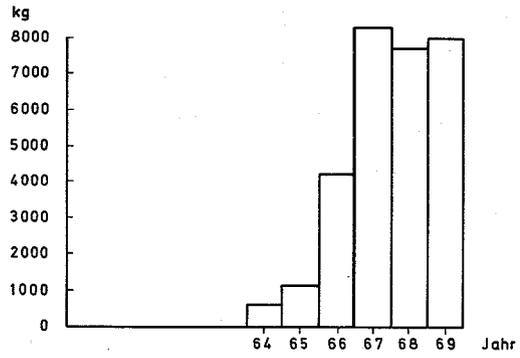


Abb. 3: angereichertes Uran

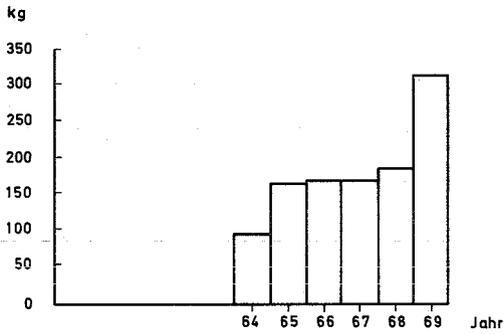


Abb. 4: Plutonium

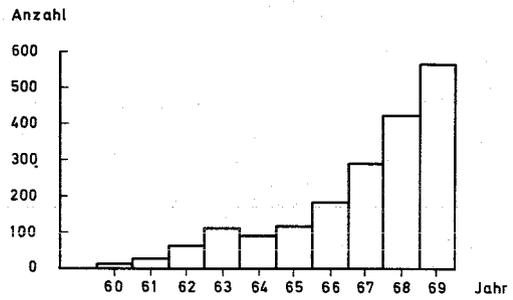


Abb. 5: Bilanzen (Meldungen) an Behörden

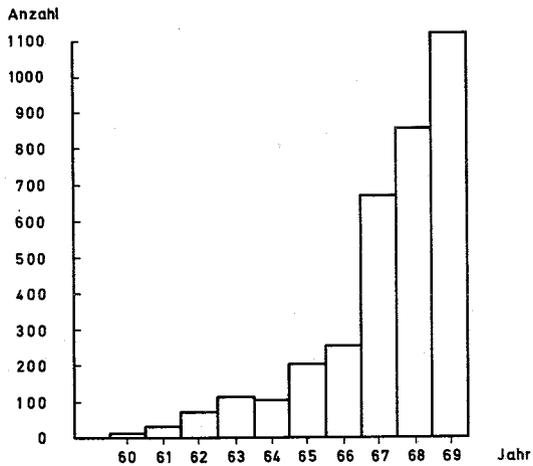


Abb. 6: interne und externe Kernbrennstoffbewegungen

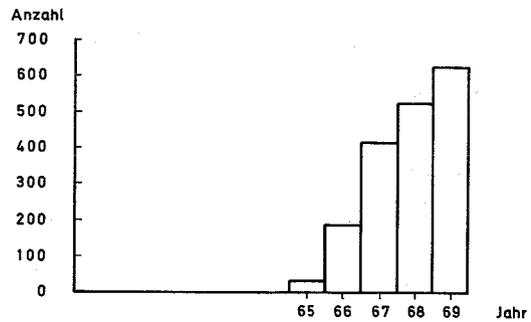


Abb. 7: Zahl der Pu Transporte

In einer Personendosiskartei werden die von der amtlichen Meßstelle und die in der Eigenüberwachung ermittelten Personendosen eingetragen. Die amtlichen Meßergebnisse werden den Strahlenschutzverantwortlichen zugeleitet, wobei für einige Institute bzw. Abteilungen eine gesonderte Mitteilung bei Überschreitung bestimmter Personendosen erfolgt.

Zu den Aufgaben gehören auch Ausgabe und Annahme der amtlichen Personendosimeter sowie deren Versand an die Meßstelle des Landesinstituts für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Betreut wurden 1969 außer den Mitarbeitern der Gesellschaft für Kernforschung auch die hier tätigen Angehörigen anderer Gesellschaften und Institutionen.

Für verschiedene Institute und Abteilungen werden die Mitarbeiter in vorgeschriebenen, regelmäßigen Abständen der Medizinischen Abteilung für die Einbestellung zur ärztlichen Untersuchung gemeldet. Ergeben sich bei der Untersuchung Einschränkungen für den Umgang mit radioaktiven Stoffen, so wird dies in der Kartei vermerkt. Ebenfalls eingetragen werden die Ergebnisse von Inkorporationsmessungen.

2.7 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 1969 wurden insgesamt 223 Dichtigkeitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen durchgeführt. Bei diesen Prüfungen wurden 3 undichte Quellen ermittelt.

3. Strahlenschutzüberwachung

3.1 Arbeitsplatzüberwachung

L. König

Die Routineüberwachung am Arbeitsplatz umfaßt:

- Ortsdosismessungen
- Kontaminationsüberwachung
- Luftstaubmessungen
- Überwachung des inaktiven Mülls auf Aktivität
- Auswertung der Stabdosisimeter und Versorgung mit Film- und Glasdosimetern
- Kontrolle tragbarer Strahlenschutzmeßgeräte und Überwachung ortsfester Meßanlagen
- Überwachung der inaktiven Bereiche, z. B. Zentralgebäude, Kantine und Zentralbücherei
- Ausmessung der in die Bücherei zurückgegebenen Bücher
- Strahlenschutzbelehrungen auf Anforderungen
- Monatsmeldungen, z. B. über erzeugte radioaktive Stoffe und Ableitung gemäß Vereinbarung mit den zuständigen Stellen
- Mitarbeit bei der Kalibrierung von Meßstellen

Art und Umfang der Routineüberwachung sind in Vereinbarungen mit den zuständigen Strahlenschutzverantwortlichen festgelegt.

79 Radioisotopentransporte vom bzw. zum Kernforschungszentrum sowie 126 innerhalb des Zentrums waren zu begleiten.

Die Tab. 6 enthält einige im Zusammenhang mit der Arbeitsplatzüberwachung interessante Zahlen. Zum Vergleich sind die entsprechenden Zahlenwerte für das Jahr 1968 wiederholt (14). Der

Rückgang der Anzahl der Wischteste ist die Auswirkung der Bemühungen zur Intensivierung der Direktmessungen mit Kontaminationsmonitoren in deren Anwendungsbereich, wodurch die Aufdeckung von Kontaminationen beschleunigt wird. Bei den berichteten Kontaminationen handelt es sich fast ausnahmslos um die bei der alltäglichen Arbeit vorkommenden Bagatellfälle.

Tab. 6: Zahlenangaben zum Arbeitsaufwand für Arbeitsplatzüberwachung

		1968	1969
Wischteste		453 000	418 000
Luftstaubmessungen		15 200	17 800
Sach- und Bodenkontaminationen	α	669	604
	β	1 658	1 686
Luftkontaminationen	α	14	30
	β	41	38
Personenkontaminationen		140	150

In der Anzahl der Luftkontaminationen mit α -Strahlern sind die Ergebnisse von ca. 640 Messungen nicht enthalten, die zum Zweck systematischer Untersuchungen bei Kontaminationsfällen durchgeführt wurden und die nicht im Rahmen der Arbeitsplatzüberwachung notwendig gewesen wären.

Im Jahre 1969 wurden im Meßlabor 187 Proben γ -spektroskopisch untersucht. Im einzelnen handelte es sich dabei um 76 Wischteste, 66 Luftstaubfilter, 43 aktivierte bzw. kontaminierte Gegenstände, eine Gasprobe und eine Wasserprobe. 117 der Proben stammten vom FR 2, der Rest wurde aus den übrigen Anlagen des Kernforschungszentrums angeliefert. 29 Proben konnten nicht analysiert werden, da entweder die Aktivität zu gering oder eine Analyse ohne chemische Trennung nicht möglich war. Tab. 7 gibt eine Übersicht über die γ -spektroskopisch identifizierten Radionuklide.

Tab. 7: γ -spektroskopisch im Strahlenschutzlabor identifizierte Radionuklide

Nuklide	Vorkommen in den Proben	Nuklide	Vorkommen in den Proben
Co-60	52 Fälle	Mo-99 - Te-99m	3 Fälle
Cr-51	25 "	Am-241	3 "
Ce-144 - Pr-144	20 "	Mn-56	2 "
Cs-137	20 "	Rn-222 + Folgepr.	2 "
Zr-95 - Nb-95	20 "	Th + Folgepr.	2 "
Ag-110m	19 "	Mn-54	2 "
J-131	19 "	Ru-103 - Rh-103	2 "
Fe-59	14 "	Lu-177	2 "
Sb-124	12 "	Ra-226 + Folgepr.	2 "
Co-58	12 "	Rb-89	1 Fall
Ru-106 - Rh-106	11 "	J-135	1 "
J-133	10 "	Hg-203	1 "
Zn-65	7 "	Dy-165	1 "
Cs-134	7 "	Cu-64	1 "
Se-75	7 "	Ar-41	1 "
Hg-203	6 "	Xe-133	1 "
J-134	4 "	Xe-135	1 "
Y-88	4 "	La-140	1 "
Cl-38	4 "	Hg-197m	1 "
Ce-141	4 "	Hg-197m	1 "
Ba-140 - La-140	4 "	N-16	1 "
Cs-138	3 "	Hf-181	1 "
Ba-139	3 "	Pa-233	1 "
Na-24	3 "	Ta-182	1 "
Br-82	3 "	K-40	1 "

59 Proben wurden im Meßlabor α -spektroskopisch untersucht. Dabei handelt es sich um 39 Wischteste, 19 Luftfilter sowie ein elektrolytisch hergestelltes Präparat. Die Tab. 8 gibt eine Übersicht über die identifizierten Radionuklide.

Tab. 8: α -spektroskopisch im Strahlenschutzlabor am FR 2 identifizierte Radionuklide

Nuklid	Vorkommen in den Proben
^{241}Am	25mal
^{239}Pu	24 "
^{210}Po	16 "
^{242}Cm und/oder ^{252}Cf	8 "
^{230}Th + Folgeprodukte	2 "
^{246}Cm	1 "
U_{nat}	1 "
^{226}Ra + Folgeprodukte	1 "
^{224}Ra + Folgeprodukte	1 "
nat. Luftstaubaktivität	2 "
nicht analysiert	6 "

Auf dem α - β -Pseudokoinzidenz-Probenwechsler für 20 cm-Filter wurden 1969 etwa 17 000 Luftfilter ausgemessen. Dabei wurde auf 172 Filtern eine α -Aktivität oberhalb 0,1 nCi und auf 50 Filtern eine β -Aktivität oberhalb 0,5 nCi gemessen. In den letztgenannten Zahlen sind die Ergebnisse jener Messungen mit enthalten, die zu systematischen Untersuchungen von Luftstaubkontaminationen durchgeführt wurden.

3.2 Überwachung der Ableitungen

3.2.1 Abwasser-Überwachung

M. Winter

Die Zahl der Abwasserproben hat auch 1969 weiter zugenommen. 1969 wurden in den Abwasserlabors der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit 11 866 Abwasserproben auf Kontamination kontrolliert. Die Zahl der Proben ist damit gegenüber 1968 um 4 % angestiegen.

Abb. 8 zeigt die Trendkurve für das Anwachsen der jährlichen Probenzahlen seit 1964.

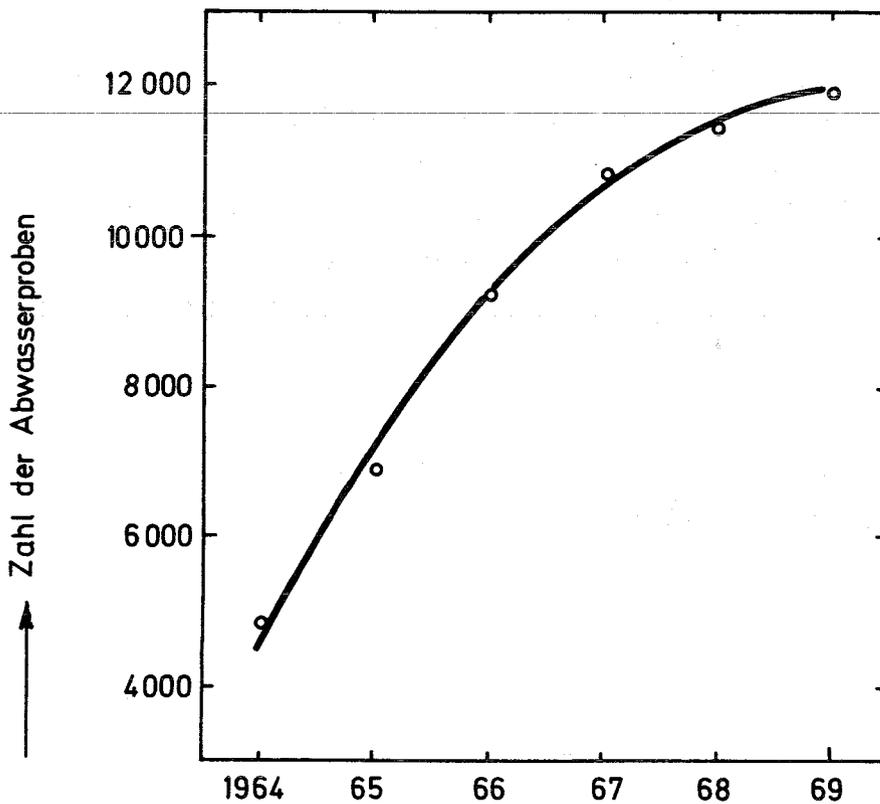


Abb. 8: Jährliche Anzahl der Abwasserproben seit 1964

Trotz der abnehmenden Zuwachsraten gibt diese Probenflut Probleme auf, da dem Abwasserlabor neben seiner Hauptaufgabe in steigendem Maße noch andere Meßaufgaben erwachsen sind. Außer den Schlammproben aus Abwassersammelbehältern oder aus dem Zyklor der Kläranlage, den Wasserproben aus dem Hauptkreislauf und dem Absetzbecken des FR 2 und außer den Wasserproben, die aufgrund von Zwischenfällen zu messen waren, sind hier vor allem die Luftfeuchteproben zur Bestimmung der Tritiumkonzentration aus dem Bereich des FR 2 zu nennen. Diese Proben dienen zur Überwachung des Gehaltes von tritiiertem Wasserdampf in der Luft. Auf diese Weise werden Experimentierkanäle, Absetzblock, verschiedene Räume und die Tankspalt-, Isotopenkanal- und Schornsteinabluft laufend kontrolliert.

Neben dieser Aufgabenerweiterung des Abwasserlabors mußte der Zeitdruck bei Probenhäufungen bewältigt werden, der dadurch entsteht, daß der Freigabe-Bescheid bei Abwasserproben stets rasch erfolgen muß. Die Auswirkungen der Verringerung des Personalbestands im Laborbereich konnten durch zahlreiche Rationalisierungsmaßnahmen abgefangen werden. Die Verkürzung von Arbeitswegen, eine neue Art der Protokollierung und Dokumentation der Meßergebnisse und der Einsatz neuer Laborhilfsmittel erbrachten große Vorteile.

Tab. 9 zeigt eine Übersicht über die 1969 im Abwasserlabor durchgeführten Einzelmessungen.

Art der Proben	Gesamt- zahl der Proben 1969	Zahl der durchgeführten Einzelmessungen						Summe der Einzelmessungen
		α	β	^3H	α - Spektr.	γ - Spektr.	β - Energie- bestimm.	
Abwasser	11 866	11 866	11 866	3 375	710	1 838	595	30 250
Schlamm aus Abwas- sersammelstationen o. Zykl. d. Klär- anlage	87	87	87	-	-	20	-	194
Wasserproben FR 2 (Hauptkreislauf u. Absetzbecken)	403	403	403	403	-	403	-	1 612
Luftfeuchteproben vom FR 2	2 284	-	-	2 284	-	-	-	2 284
Sonstige Proben	382	36	258	38	46	75	-	453
Jahressumme	15 022	12 392	12 614	6 100	756	2 336	595	34 793

Tab. 9: Art und Zahl der Proben und der 1969 durchgeführten Einzelmessungen

Die Jahressummen zeigen, daß die Zahl der notwendigen Einzelmessungen im Durchschnitt mehr als doppelt so hoch ist wie die Zahl der Proben. 21 % der insgesamt rund 15 000 angelieferten Proben waren keine Abwasserproben.

Die in Tab. 9 vorgenommene Aufgliederung nach Einzelmessungen gibt jedoch noch keine Aussage über den unterschiedlichen Zeitaufwand, der zur Untersuchung der Abwasserproben erforderlich ist. Diese Information ist notwendig, um den Arbeitszeitgewinn abschätzen zu können, der bei einer evtl. Reduzierung der Probenzahl zu erwarten ist. Eine Reduzierung der Probenzahl (z. Zt. im Mittel 50 Abwasserproben pro Arbeitstag) wird angestrebt. Zur Ermittlung des Zeitaufwandes wurden die für den Freigabe-Entscheid nach der 1. Strahlenschutzverordnung notwendig gewordenen meßtechnischen Maßnahmen in 8 verschiedene Gruppen von Meßkombinationen i eingeteilt (s. Tab. 10). Der relative Zeitaufwand σ_i für die Untersuchung einer Abwasserprobe wurde bezogen auf die Bestimmung der α - und β -Bruttoaktivität allein. Die Verhältniszahlen σ_i sind Erfahrungswerte. σ_i ist definiert durch

$\sigma_i = \frac{t_i}{t_1}$, wobei t_i den Zeitaufwand für die Untersuchung einer Probe nach der Meßkombination i ist. Für t_1 wurden 15 min angesetzt (ohne Eindampfzeit). Für die Bestimmung der prozentualen Anteile

$\frac{n_i}{\sum n_i} 100$ der nach i untersuchten Proben wurde die Abwasserstatistik für das IV. Quartal 1969 zugrunde gelegt. Der prozentuale Zeitanteil der n_i Proben an der Bearbeitungszeit für alle Proben ist gegeben durch

$$\frac{\sum_i n_i t_i}{\sum_i n_i t_i} 100 = \frac{\sum_i n_i \sigma_i t_1}{\sum_i n_i \sigma_i t_1} 100 = \frac{\sum_i \sigma_i n_i}{\sum_i \sigma_i n_i} 100$$

Das Ergebnis der Analyse zeigt z. B., daß zwar bei 70 % aller Abwasserproben des Kernforschungszentrums die Bestimmung der α - und β -Bruttoaktivität zur Entscheidung über die Freigabe ausreicht, daß diese 70 % der Proben jedoch nur 45 % der Gesamtbearbeitungszeit für alle Proben in Anspruch nehmen. Diese Ergebnisse werden bei der Beurteilung des Nutzeffekts möglicher Reduzierungsmaßnahmen beachtet werden.

Für den Freigabe-Entscheid nach der 1. SSVO notwendig gewesene meßtechnische Maßnahmen		relativer Zeitaufwand für eine Abwasserprobe auf $i = 1$	Probenanteil in %	Zeitaufwand in %
i-te Meßkombination		σ_i	$\frac{n_i}{\sum_i n_i} 100$	$\frac{\sigma_i \cdot n_i}{\sum_i \sigma_i \cdot n_i} 100$
1	Bestimmung der α - und β -Bruttoaktivität allein	1	70	45,5
2	α - und β -Bruttoaktivität <u>und</u> Tritiumaktivität	2,33	13	19,6
3	α - und β -Bruttoaktivität <u>und</u> α -Spektroskopie	1,67	6,1	6,6
4	α - und β -Bruttoaktivität <u>und</u> Tritiumaktivität <u>und</u> α -Spektroskopie	3	0,4	0,7
5	α - und β -Bruttoaktivität <u>und</u> Tritiumaktivität <u>und</u> γ -Spektroskopie	3,67	6,1	14,6
6	α - und β -Bruttoaktivität <u>und</u> Tritiumaktivität <u>und</u> α -Spektroskopie <u>und</u> γ -Spektroskopie	4,33	0,3	0,7
7	α - und β -Bruttoaktivität <u>und</u> Tritiumaktivität <u>und</u> γ -Spektroskopie <u>und</u> β -Energiebestimmung	4,33	3,1	9,1
8	α - und β -Bruttoaktivität <u>und</u> Tritiumaktivität <u>und</u> α -Spektroskopie <u>und</u> γ -Spektroskopie <u>und</u> β -Energiebestimmung	5	1	3,2

Tab. 10: Prozentuale Verteilung der Abwasserprobenanteile und des Zeitaufwandes auf unterschiedliche Kombinationen meßtechnischer Maßnahmen

In den 32 Abwassersammelstationen der einzelnen Institute und kerntechnischen Anlagen des Kernforschungszentrums Karlsruhe sind 1969 insgesamt 183 000 m³ Abwasser angefallen. Die angefallene Abwassermenge ist damit gegenüber dem Vorjahr um 70 % angestiegen.

Tab. 11 zeigt die Verteilung der im Jahre 1969 angefallenen Abwasseraktivitäten.

1969 angefallene Abwasseraktivität	β-Bruttoaktivität		α-Bruttoaktivität	
	in mCi	in %	in mCi	in %
im KFZK insgesamt	5 784,6	100	59,6	100
davon entfallen auf:				
MZFR	5 024,2	87,0	4,5	7,5
Heiße Zellen	318,8	5,5	1,6	2,7
Geräte-Dekontamination	144,6	2,5	1,7	2,8
Inst. f. Radiochemie, STARK	78,7	1,4	1,0	1,7
FR 2	77,2	1,3	0,2	0,3
Wäscherei	51,1	0,9	13,9	23,3
Inst. f. Heiße Chemie, ALKEM	34,3	0,6	30,2	50,7
Teilsumme:	5 728,9	99,2	53,1	89,0

Tab. 11: Herkunft der 1969 angefallenen Abwasseraktivität

Demnach sind 99 % der gesamten β -Bruttoaktivität und 89 % der gesamten α -Bruttoaktivität in nur 7 von insgesamt 32 Abwasser-sammelstationen angefallen.

Während die angefallene α -Bruttoaktivität gegenüber dem Vorjahr um 43 % zurückgegangen ist, hat sich die angefallene β -Bruttoaktivität um 176 % erhöht. Diese Zunahme ist fast ausschließ-lich auf die hohe Abwasseraktivität des MZFR zurückzuführen.

Die in Tab. 11 angegebenen Werte sind die maximal möglichen Ak-tivitätswerte im Unterschied zu den nachgewiesenen Aktivitäts-werten. Diese Unterscheidung ist notwendig, da, wie Tab. 12 zeigt, in vielen Fällen die Aktivitätskonzentrationen unter der Nach-weisgrenze liegen.

Art der unter-suchten Akti- vität	Zahl der unter-suchten Abwas-serproben	davon mit einer Aktivitätskonz. unter der Nach- weisgrenze	im Sinne der 1. SSVO unfrei
α	11 866	9180 (77,3 %)	} 620 (5,2 %)
β	11 866	4364 (36,7 %)	
^3H	3 375	584 (17,3 %)	

Tab. 12: Anteil der unfreien Proben und der Proben mit Akti-vitätskonzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze für die α -, β -Brutto- oder Tritiumaktivität

Die Nachweisgrenzen liegen für die α - und β -Bruttoaktivität bezogen auf Uran-235 und Kalium-40 bei $0,5 \cdot 10^{-7}$ Ci/m³ und $1,0 \cdot 10^{-7}$ Ci/m³. Die Tab. 13 gibt die aus dem Kernforschungszentrum in den Altrhein abgeleitete Abwasseraktivität wieder.

1969		Nachgewiesene Aktivität	Wassermenge
aus dem KFZK abgeleitete Abwasseraktivität	α	1,1 mCi	$3,72 \cdot 10^5$ m ³
	β	35,9 mCi	
	³ H	440,8 Ci	

Tab. 13: 1969 in den Altrhein abgeleitete Abwasseraktivität

Gegenüber 1968 wurden 12 % mehr α -Bruttoaktivität und 25 % weniger β -Bruttoaktivität abgeleitet. Dagegen hat sich die abgeleitete Tritiumaktivität fast verdoppelt. Sie stieg von 231 Ci auf 445 Ci an.

3.2.2 Abluft-Überwachung

L. König

Die Ableitung radioaktiver Stoffe in die Luft erfolgt mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde gemäß den "Grundsätzen für die Ableitung radioaktiver Stoffe in die Luft aus dem Kernforschungszentrum Karlsruhe" vom 25. 7. 1968 entsprechend dem jeweils gültigen Abluftplan. Die Aufgaben der in diesen Grundsätzen vorgesehenen Koordinierungsstelle hat die Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit/Überwachung übernommen. Hieraus resultierende Aufgaben sind neben anderen die Erfassung der tatsächlichen Ableitungen und die Aufstellung des Abluftplanes für 1970.

Die Ableitungen aus den einzelnen Anlagen des Kernforschungszentrums werden in den Anlagen, die der GfK unterstehen, von dem dort eingesetzten Personal der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit in Wochenberichten zusammengestellt. Die im Kernforschungszentrum ansässigen Institutionen, die nicht zur GfK gehören, arbeiten diesbezügliche Meldungen selbst aus. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus dem Kernforschungszentrum Karlsruhe in die Luft im Jahre 1969 liegen unterhalb der in der Abluftplanung vorgesehenen Möglichkeiten.

Im einzelnen wurden 1969 aus dem Kernforschungszentrum Karlsruhe in die Atmosphäre abgeleitet (Zahlenwerte abgerundet):

148 000 Ci ^{41}Ar

1 600 Ci ^3H

50 Ci Mischung von ^{13}N , ^{15}O

0,5 Ci Spaltjod (Anteil von ^{131}I ca. 10 %)

Ausgehend von den 1969 gemachten Erfahrungen wurde unter Berücksichtigung betrieblicher Erfordernisse der Abluftplan für 1970 ausgearbeitet. Die hierin vorgesehenen Ableitungen liegen unterhalb der im KfK-Bericht 930 (6) angenommenen Ableitungen, so daß keine Neuberechnung der für 1970 zu erwartenden Strahlenbelastung notwendig war.

Zur Kontrolle der äußeren Strahlenbelastung durch Abgabe radioaktiver Stoffe aus dem Kernforschungszentrum in die Atmosphäre werden γ -Ortsdosen mit Hilfe von Glasdosimetern gemessen. Die Messung erfolgt auf zwei Kreisen von 100 und 250 m Radius um den FR 2-Schornstein, entlang der Geländegrenze sowie auf drei konzentrischen Kreisen um das Kernforschungszentrum mit den Radien 1, 2 und 3 km. Dabei sind bei der Ortswahl der Meßstellen Hindernisse berücksichtigt worden. An jeder Meßstelle werden gleichzeitig zwei Phosphatglasdosimeter exponiert. Während aufgrund der Berechnungen und der Nachweisgrenze der benutzten Phosphatglasdosimeter auf den Kreisen außerhalb des Kernforschungszentrums Nulleffekt erwartet werden muß, sind für einen Vergleich Meßwerte innerhalb des Kernforschungszentrums zu erhoffen. Hierbei besteht die Schwierigkeit, daß der Nulleffektanteil, der u. a. auch von der Bebauung abhängt, nicht genügend genau bekannt ist.

3.3 Umgebungsüberwachung

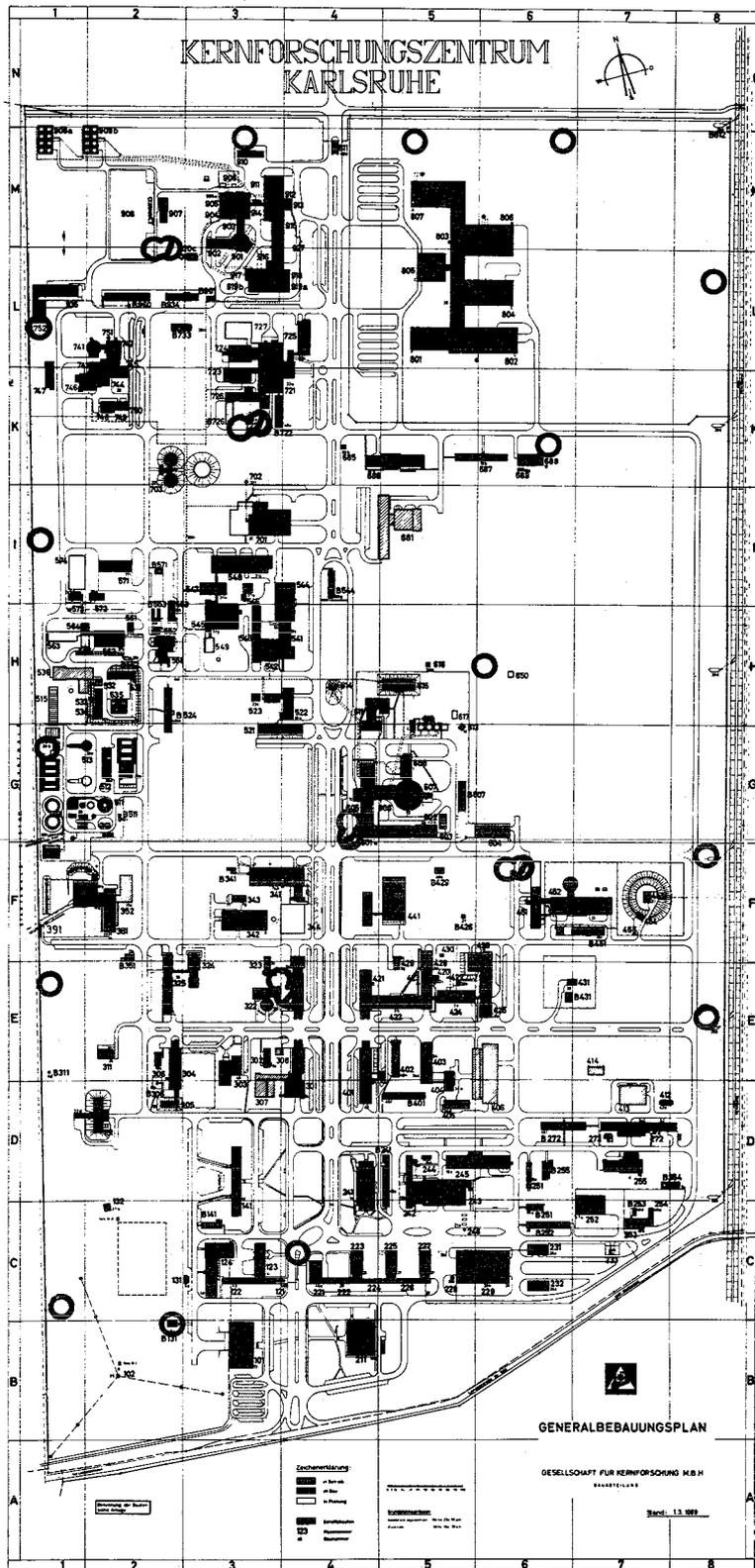
M. Winter

Die bis zum Jahre 1969 durchgeführten Maßnahmen und Messungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität des Kernforschungszentrums stützten sich auf eine Vielzahl behördlicher Auflagen, die das jeweils geltende Überwachungsprogramm erweiterten. Das damit verbundene ständige Anwachsen des Arbeitsumfanges in der routinemäßigen Umgebungsüberwachung war der Anlaß, den Gesamtkomplex aller gültigen Auflagen einer kritischen Prüfung zu unterziehen, mit dem Ziel, die Überwachungsmaßnahmen auf das unbedingt Notwendige zu reduzieren und das Überwachungsprogramm wieder übersichtlich zu gestalten. Das neu entworfene Gesamtprogramm zur Umgebungsüberwachung wurde im Februar 1969 vom Arbeits- und Sozialministerium Baden-Württemberg gebilligt. Die Umgebungsüberwachung des Kernforschungszentrums Karlsruhe wird seit dem 1. April 1969 nach diesem neuen 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 zum Überwachungsprogramm 85 ortsfeste Meßstellen. Davon stehen 2 Meßhütten, 25 Detektoren der Zählrohr-Monitoranlage (Abb. 9) und 50 Phosphatglas-Dosimeter auf dem Gelände des Kernforschungszentrums.



8 Zählrohraußenstationen (Abb. 10) dienen der Überwachung des Strahlungspegels in benachbarten Ortschaften. Dieses Routineprogramm wird durch 158 Glasdosimeter-Meßstellen ergänzt, die zur Ermittlung der örtlichen Verteilung der akkumulierten γ -Dosis in der Umgebung dienen sollen.



Abb. 10: Lageplan der Meß- und Probenahmestellen zur Umgebungsüberwachung des KFZK

Die Betreuung und Instandhaltung der Meßstellen machten auch 1969 viele Inspektionsfahrten zur Durchführung von Eichungen und Wartungsarbeiten erforderlich.

Die im Rahmen des Routineprogrammes 1969 erfolgten Probenahmen wurden durch zahlreiche weitere Probenahmen ergänzt. Darüber hinaus wurden Luftfeuchteproben zur Bestimmung der Tritium-Immission in der Umgebung genommen (siehe hierzu Kap. 8.5, Ausbreitungsversuche). Eine Übersicht über Art und Zahl der 1968 und 1969 für Aktivitätsbestimmungen genommenen Proben zeigt

Tabelle 14. 1969 wurden insgesamt 2463 Proben genommen und ausgemessen. Die Probenzahl ist damit, gemessen am Vorjahr, um 42 % zurückgegangen, was den Erfolg des gestrafften Überwachungsprogramms zeigt.

Art der Proben	Zahl der Probenahmen	
	1968	1969
Biologische Proben (Schlamm, Plankton, Fisch)	81	70
Boden und Bewuchs (einschl. Gras- und Erdproben zur ^3H -Bestimmung und Kiefernadelproben zur Pu-Bestimmung)	149	184
Niederschlag (für α -, β -Bruttoaktivitätsmessung und ^{90}Sr -, ^{137}Cs -, ^{239}Pu -, ^3H -Aktivitätsbestimmung)	2093	1347
Grund- und Trinkwasser Oberflächenwasser	784	202
Luftstaub auf Festfiltern	718	309
Luftfeuchte zur Tritium-Bestimmung (Routineüberwachung und Ausbreitungsversuche)	395	351
Summe	4220	2463

Tab. 14: Art und Zahl der zur Bestimmung der Umweltradioaktivität genommenen Proben

Im folgenden wird das seit April 1969 gültige Routineprogramm zur Umgebungsüberwachung 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 1969 insgesamt 13 218 km zurücklegten. Die Lage der Meß- und Probenahmestellen ist aus der Abb. 10 zu entnehmen.

I. Direktmessung der Strahlung

Programm-Pkt.	Überwachungseinrichtung	Meßgrößen	Auswertungsform	Zahl der Meßstellen
<u>I.1</u>	Zählrohraußenstationen + Zählrohre BZ 120 auf Kurbelmasten Impulsspeicher telefonisch abfragbar	($\beta + \gamma$)-Strahlungspegel	Monatsmittel, gebildet aus den Impulsraten der täglichen Abfragen und minimales und maximales Tagesmittel.	8

+ Zählrohrstationen wurden in allen dem Kernforschungszentrum Karlsruhe benachbarten Ortschaften aufgebaut (s. Abb. 10).

Meßergebnisse zu I.1

Meßstellenstandorte	($\beta + \gamma$)-Strahlungspegel in Imp/min		
	Jahresmittel	min. Tagesmittel	max. Tagesmittel
KFZK	456	236	830
Leopoldshafen	472	310	845
Linkenheim	499	337	916
Forsthaus, nördl. KFZK	463	277	880
Friedrichstal	410	258	794
Blankenloch +)	495	310	1000
Karlsruhe	369	291	504
Eggenstein ++)	483	327	777

+) Seit April 1969 in Betrieb

++) Seit März 1969 in Betrieb

Programm-Pkt.	Überwachungseinrichtung	Meßgrößen	Auswertungsform	Zahl der Meßstellen
I.2	Zählrohr-Monitor-Anlage zur Geländeüberwachung	γ -Dosisleistung	Berichterstattung nur bei Überschreitungen der Warn- oder Alarmschwellen	
				Detektoren mit Warnschwelle bei 1 mR/h Detektoren mit Alarmschwelle bei 100 mR/h

Der Nulleffekt der γ -Dosisleistung \dot{D}_0 im Gelände des Kernforschungszentrums liegt zwischen 0,01 und 0,02 mR/h. Demgegenüber kann \dot{D}_0 an einigen Meßstellen zeitweise, bedingt durch bestimmte Betriebszustände benachbarter kerntechnischer Anlagen, Werte zwischen 0,06 und 0,1 mR/h annehmen. Im Jahre 1969 sind insgesamt 60, fast immer sehr kurzfristige (< 5 min) Überschreitungen der Warnschwelle von 1 mR/h registriert worden. Den Lageplan für die Meßstellen der Zählrohr-Monitoranlage zeigt Abb. 9.

Programm-Pkt.	Überwachungseinrichtung	Meßgrößen	Auswertungsform	Zahl der Meßstellen	
I.3	Phosphatglas-Dosimeter Dosimeterpaare in Spezialkugelskapselung	akkumulierte γ -Dosis	Bestimmung der örtlichen Verteilung der Jahresdosis		
				Entlang der Geländegrenzen des Kernforschungszentrums	100 +
				Konzentr. Ringe um das KFZK von 1, 2 und 3 km Radius	108 +
	An den Standorten der Zählrohr Außenstationen + (Von den insgesamt 216 Meßstellen sind nur 58 von der behördlichen Auflage gefordert.)			8 +	

Die Messungen außerhalb des Kernforschungszentrums mit Phosphatglasdosimetern erbrachten keine gegenüber dem natürlichen γ -Pegel erhöhten Ergebnisse.

II. Aktivitätsmessungen

Programm-Pkt.	Überwachtes Medium	Meßgrößen	Probenahme	Zahl der Sammelstellen
II.1	Aerosolgehalt der Luft	langlebige α - und β -Aktivität (ca. 7 Tage nach Probenahme)	2 x wöchentlich mit feststehenden Einzelfiltern	2
		α -Aktivität 5 Tage, β -Aktivität 5-6 Std. nach Bestaubungsende bei 6 Std. Bestaubungszeit	Kontinuierlich mit Schrittfilterbandanlage	1

Meßergebnisse zu II.1

Probenahmestellen	Spezifische β -Bruttoaktivität in pCi/m ³	
	Jahresmittel	Max. Monatsmittel (gemessen im Juli)
Festfilter in Meßhütte West	0,17	0,36
Festfilter in Meßhütte Nordost	0,17	0,35
Schrittfilteranlage auf Dach des Strahlenschutzgebäudes	8,3	15,8

Die Monatsmittel der α -Aktivität lagen immer unter der Nachweisgrenze.

Pro-gramm-Pkt.	Überwach-tes Medium	Meßgrößen	Probenahme	Zahl der Sammel-stellen
II.2	Nieder-schlag	α - und β -Brutto-aktivität	14tägige Samm-lung mit Hiberniatrich-tern	2
		Tritium-Akti-vität	14tägige Samm-lung mit Hiberniatrich-tern	2
		Plutonium-Ak-tivität	monatliche Samm-lung mit Naß-sammelwannen	2

Meßergebnisse zu II.2

Probenahme-stellen	β -Bruttoaktivität		
	integrierter Wert von April bis Dezember in mCi/km ²	Konzentrationswerte in pCi/l	
		Maximum (ge-messen im Oktober)	Minimum (ge-messen im November)
Meßhütte West	32	106	22
Meßhütte Nordost	33	113	25
Probenahme-stellen	Pu-Aktivität in μ Ci/km ²		
	integrierter Wert von Mai bis Dezember	Schwankungsbereich der Monatswerte	
Meßhütte West	31	1,0 bis 8,7	
Meßhütte Nordost	36		
Die Monatswerte der Tritiumaktivität lagen stets unter der Nachweisgrenze von 15 pCi/ml.			

Pro-gramm-Pkt.	Überwach-tes Medium	Meßgrößen	Probenahme	Zahl der Entnahme-stellen
<u>II.3</u>	Wasser			
3.1	Oberflächen-wasser	Tritium-Aktivität	seit Septem-ber 1969 kontinuierlich	2
3.2	Grund- und Trinkwasser	langlebige α - und β -Aktivität (abzügl. ^{40}K) nach ca. 7 Tagen	wöchentlich 1/4jährlich 1/2jährlich	1 4 1

Meßergebnisse zu II.3

Probenahme-stelle	Jahresmittelwerte		
	β -Bruttoakti-vität in pCi/l	α -Bruttoakti-vität in pCi/l	^3H -Aktivität in pCi/ml
Oberflächen-wasser (Hirschgraben)	2,8	2,4	< 15
Grund- und Trinkwasser-proben von 4 Wasserwerken und 2 Schluckbrunnen	< 1,8 bis 2,7	< 2,3	< 15

Pro-gramm-punkt	Überwach-tes Medium	Meßgrößen	Probenahme	Zahl der Probenah-mestellen
<u>II.4</u>	Biologi-sches Material			
4.1	Schlamm	langlebige α - und β -Aktivität nach ca. 7 Tagen	monatlich	1
		langlebige α - und β -Aktivität nach ca. 7 Tagen und Pu-Aktivität	1/4jährlich	1
4.2	Plankton	langlebige α - und β -Aktivität nach ca. 7 Tagen und Pu-Aktivität	1/4jährlich	1
4.3	Fisch	langlebige β -Aktivität nach ca. 7 Tagen (abzügl. ^{40}K)	1/2jährlich	1
4.4	Wasser-pflanzen	langlebige β -Aktivität nach ca. 7 Tagen (abzügl. ^{40}K)	1/2jährlich	1
4.5	Bewuchs Futter-pflanzen	langlebige β -Aktivität nach ca. 14 Tagen (abzügl. ^{40}K)	1/2jährlich	3
	vorwiegend Kiefer-nadeln	Pu-Aktivität	1/4jährlich	5

Meßergebnisse zu II.4

Probenahme- stelle	Jahresmittel in pCi/g Tr.	
	α -Bruttoaktivität	β -Bruttoaktivität
Schlamm		
Hirschgraben	10	21
Altrhein	15	20
Plankton		
Altrhein	20	58
	Schwankungsbereich der β -Aktivität (abzügl. ^{40}K)	
Fisch		
Altrhein	0,7 bis 1,1 pCi/g Naßgewicht	
Wasserpflanzen		
Altrhein	16 bis 22 pCi/g Trockengewicht	
Bewuchs		
3 Probenahme- stellen	6 bis 26 pCi/g Trockengewicht	
	Schwankungsbereich der Pu-Aktivität	
5 Probenahme- stellen	0,01 bis 0,08 pCi/g Naßgewicht	

3.4 Personenüberwachung

3.4.1 Externe Dosis

E. Piesch

Eine Eigenüberwachung aller Mitarbeiter des KFZK mit Phosphatglasdosimetern ermöglicht die Feststellung der akkumulierten Jahresdosis für jede Einzelperson, aber auch die Ermittlung einer mittleren Jahresdosis für einen bestimmten Personenkreis. Neben der beruflichen Strahlenbelastung wird das Glasdosimeter zusätzlich die natürliche Strahlenbelastung in Gebäuden messen (s. Abb. 11) (13).

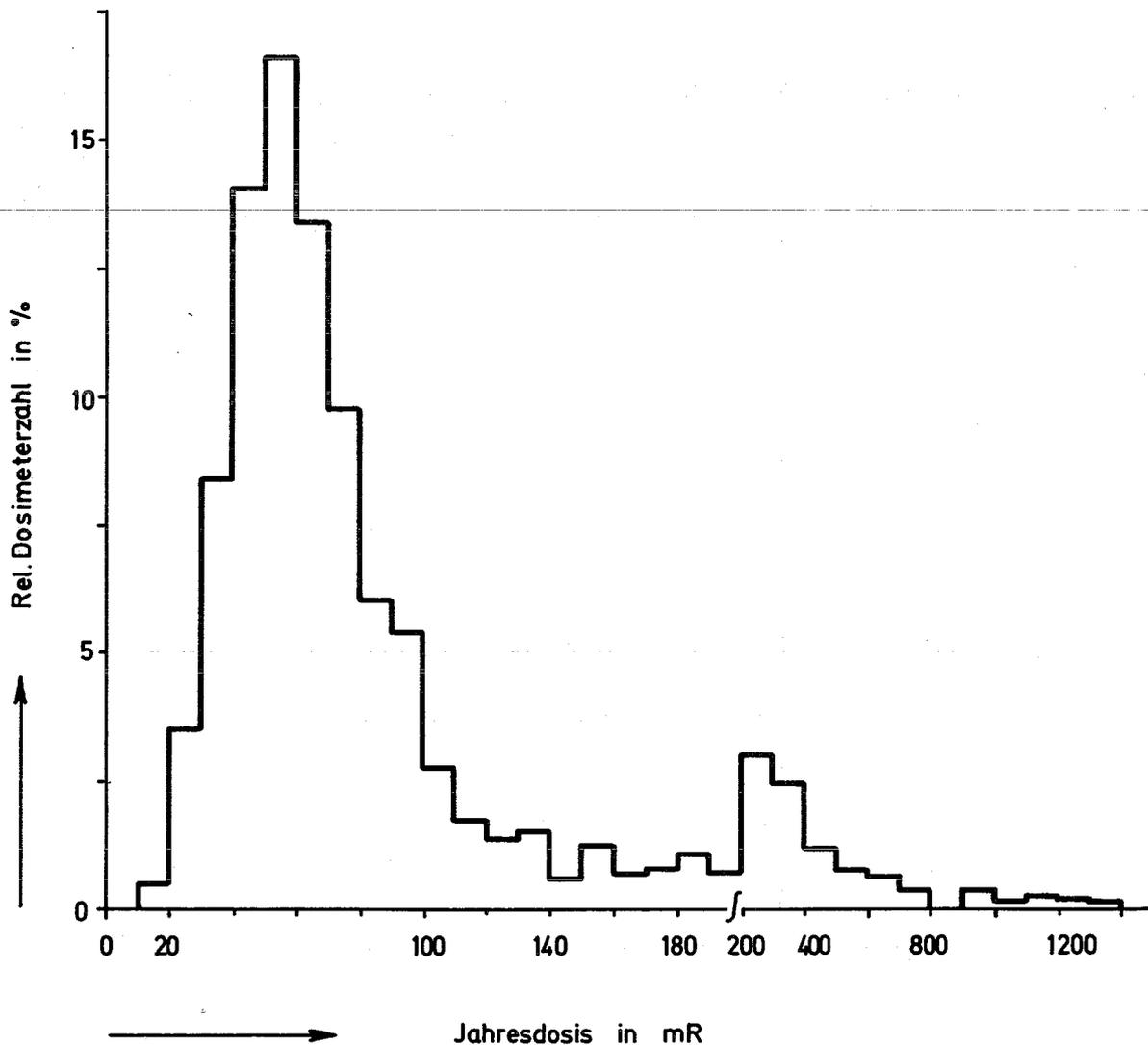


Abb.11: Strahlenbelastung der Mitarbeiter der GfK im Jahre 1969

Im Jahre 1969 wurden ca. 4000 Personen im KFZK mit Glasdosimetern überwacht. Die Dosimeter werden bei Bedarf sofort, sonst monatlich, spätestens jedoch halbjährlich ausgewertet. Im Berichtsjahr 1969 sind insgesamt 13 100 Glasdosimeterausmessungen durchgeführt worden. Die bei den Mitarbeitern des Kenforschungszentrums Karlsruhe gemessenen mittleren Jahresdosen in den einzelnen Instituten und Abteilungen liegen zwischen 40 mR und 700 mR. Tab. 15 gibt die für Bereiche mit beruflicher Strahlenbelastung gefundenen mittleren Jahresdosiswerte wieder.

Tab. 15: Mittlere Jahresdosis 1969 für Bereiche mit beruflicher Strahlenbelastung

Dekontamination	693 mR
Reaktorbetrieb (FR 2, STARK)	414 mR
Zyklotron	370 mR
Heiße Zellen	252 mR
Radiochemie	263 mR
Strahlenschutz im Kontrollbereich	217 mR
Physikalische Institute	93 mR

An anderen Stellen, an denen keine signifikante berufliche Strahlenbelastung vorhanden ist, können Unterschiede auf die jeweiligen Baulichkeiten zurückgeführt werden (Tab. 16). Die kleinste gefundene mittlere Jahresdosis für ein Institut lag bei 40 mR + 10 mR.

Tab. 16: Mittlere Jahresdosis 1969 für Bereiche ohne berufliche Strahlenbelastung

Holzbaracken	40 mR
Literaturabteilung	53 mR
große Hallen	56 mR
Betonbau	63 mR

Um Erfahrungen über die Anzeigegenauigkeit von Glasdosimetern innerhalb der routinemäßigen Personenüberwachung zu erhalten, wurden weiterhin Dosimeter an verschiedene auswärtige Stellen zum Tragen ausgegeben und von uns ausgewertet (siehe Abschnitt 4.2.1.3).

Im Jahre 1969 wurden außerdem 598 LiF-Dosimeterplättchen als Finger- bzw. Armbanddosimeter zur Teilkörperdosimetrie ausgegeben (siehe Abschnitt 4.2.2).

3.4.2 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 monatlich bzw. seit 1969 vierteljährlich der Gehalt von Fallout-Radionukliden mit dem Human Body Counter ermittelt (Abb. 12).

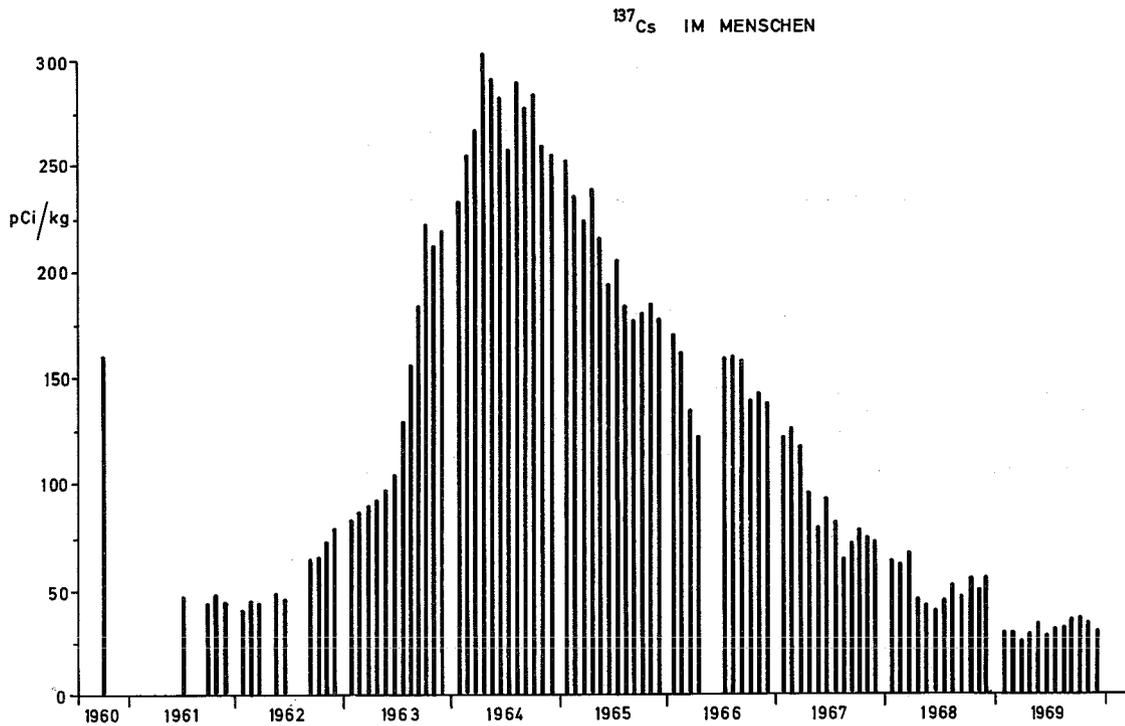


Abb.12: Mittlerer ^{137}Cs -Gehalt einer Vergleichsgruppe in den Jahren 1960 - 1969

Diese Meßergebnisse werden vom Bundesgesundheitsamt in Berlin statistisch ausgewertet. γ -spektroskopisch wurden außer ^{137}Cs keine anderen Fallout-Radionuklide nachgewiesen werden. Im Jahre 1969 wurden für den mittleren Cäsium-Gehalt der Vergleichsgruppe 30,5 pCi/kg gemessen (Höchstwert 304 pCi/kg im Jahre 1964).

Im Jahre 1969 wurden im Human Body Counter insgesamt 2050 Messungen durchgeführt. Hierbei entfielen auf

Personen	1947	Messungen
Pflanzen- und Bodenproben	85	"
Phantomkalibrierungen	18	"

In Tab. 17 und Tab. 18 ist die Anzahl der durchgeführten Inkorporationsmessungen sowie der Betrag der festgestellten Inkorporationen in Prozent der zulässigen Körperbelastung wiedergegeben.

Tab. 17: Inkorporationsmessungen im Human Body Counter 1969

Anzahl der Messungen	GfK	Landesinstitut für Arbeitsschutz	Fremdfirmen	Zwischenfall GfK	Summe
	1497	34	362	54	1947
Inkorporationen	14 (0,94%)	unbekannt	106 (29,2%)	4 (7,4%)	

Tab. 18: Inkorporierte Aktivität in % der zulässigen Körperbelastung

Nuklid	<0,01 %	0,01 - 0,1 %	0,1 - 1,0 %	1,0 - 10 %	>10 %
⁵⁴ Mn oder ⁵⁸ Co	1	23	1	-	-
⁶⁰ Co oder ⁵⁹ Fe	1	17	85	3	-
⁶⁵ Zn	-	7	3	-	-
^{110m} Ag	-	1	2	-	-
¹³⁷ Cs	-	3	2	-	-
¹⁷⁷ Lu	-	-	2	-	-
⁷⁵ Se	-	2	-	-	-
¹³¹ I	-	-	3	-	-
Summe	2	53	98	3	-

Für Inkorporationsmessungen nach Zwischenfällen steht auch ein Pu-Lungenzähler zur Verfügung. Im Jahre 1969 wurden insgesamt 20 Personen ausgemessen. Eine nachweisbare Inkorporation wurde nicht gefunden.

4. Strahlenschutzmeßmethoden

4.1 Dosisleistungsmessungen

4.1.1 Kalibrierung verschiedener NaJ(Tl)-Kristalle auf ^{131}J -Flächenaktivität

A. Schmitt

Im Rahmen des vom Deutschen Wetterdienst durchgeführten Forschungsprogrammes "Untersuchungen über die Abgrenzung kontaminierter Zonen aus der Luft bei etwaigen Reaktorunfällen" waren Ende 1965 Strahlenpegelmessungen vom Hubschrauber aus in der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe durchgeführt worden (Schmitt, Winter: Direct Information Atompraxis 1/66). Sie hatten wertvolle Erfahrungen über die praktischen Einsatzbedingungen erbracht und gezeigt, daß Zählrohrgeräte wegen ihres einfachen Aufbaues und geringen Stromverbrauches für diesen Zweck große Vorteile besitzen. Daher wurde für den Deutschen Wetterdienst ein robuster Zählrohrdosisleistungsmesser entwickelt, der als Detektor ein empfindliches GM-Zählrohr Type BZ 120 mit einem Energiekompensationsfilter verwendet (22).

Da nach einem Reaktorunfall das Nuklid ^{131}J die größte Gefährdung für die weitere Umgebung bringt, wurde dieser Dosisleistungsmesser am meteorologischen Mast des Kernforschungszentrums Karlsruhe in 80 m Meßhöhe auf eine ^{131}J -Flächenkontamination geeicht. Dabei wurden u. a. auch die Probleme einer selektiven ^{131}J -Messung untersucht und die Nachweisempfindlichkeit mit einem 1 1/2" x 1 1/2" NaJ(Tl)-Kristall ermittelt.

In einer weiteren Arbeit wurden die Möglichkeiten einer Kontaminationsmessung vom Flugzeug aus nach einem Reaktorunfall behandelt, wobei speziell über die praktisch erreichbare Nachweisempfindlichkeit einer solchen Messung und über die Vor- und Nachteile der möglichen Meßmethoden diskutiert wurde (23). Hierbei waren außer den oben genannten Kalibrierungen auch Meßergebnisse benutzt worden, die in der Literatur für eine Kombination von 3 Detektoren der Größe 4 1/2" x 1" veröffentlicht wurden (Chamberlain et al.: Reactor Science and Technology 14, (1961), 155). Unter den praktischen Bedingungen eines Meßfluges kann danach auch mit großen NaJ(Tl)-Kristallen keine kleinere ^{131}J -Flächenkontamination als etwa $1 \mu\text{Ci}/\text{m}^2$ nachgewiesen werden.

Eigene Messungen mit größeren Kristallen konnten im Jahre 1969 durchgeführt werden. NaJ(Tl)-Kristalle der Größe 3" x 2" und 6" x 3 1/2" wurden am meteorologischen Mast in 80 m Höhe über Boden mit einer ¹³¹J-Punktquelle geeicht. Gleichzeitig wurde die frühere Kalibrierung des 1 1/2" x 1 1/2"-Kristalles wiederholt, die sehr gut reproduzierbar war. Die hierbei ermittelten Kalibrierfaktoren für eine unendlich ausgedehnte ¹³¹J-Flächenkontamination sind in Tab. 19 wiedergegeben.

Tab. 19: Kalibrierfaktor für eine unendlich ausgedehnte ¹³¹J-Flächenquelle, gemessen in 80 m Höhe über Boden

Größe des NaJ(Tl)-Kristalles	1 1/2" x 1 1/2"	3" x 2"	6" x 3 1/2"
Nulleffekt	120 $\frac{\text{Imp}}{\text{min}}$	663 $\frac{\text{Imp}}{\text{min}}$	3472 $\frac{\text{Imp}}{\text{min}}$
Nettozählrate unter 360 keV-peak	42 $\frac{\text{Imp} \cdot \text{m}^2}{\text{min} \cdot \mu\text{Ci}}$	670 $\frac{\text{Imp} \cdot \text{m}^2}{\text{min} \cdot \mu\text{Ci}}$	3350 $\frac{\text{Imp} \cdot \text{m}^2}{\text{min} \cdot \mu\text{Ci}}$

Bei Messung der Nettozählrate unter dem 360 keV-peak nimmt die Nachweisempfindlichkeit zwar mit der Kristallgröße zu, gleichzeitig steigt aber auch die Nulleffektzählrate so an, daß sich das Verhältnis beider Zählraten für Kristallgrößen oberhalb 3" nicht mehr verbessert. Ein größerer Kristall würde aber eine kleinere Zeitkonstante und damit eine höhere Fluggeschwindigkeit erlauben.

Bei einem Einsatz nach einem Reaktorunfall kommt jedoch dieser Vorteil nicht mehr zum Tragen, da

- die Nulleffektzählrate durch gleichzeitig vorhandene andere Radionuklide in unvorhersehbarem Maße um ein vielfaches der natürlichen Nulleffektzählrate erhöht wird,
- Meßflüge nur bei großflächigen Kontaminationen sinnvoll sind, wo auch die Verwendung von Meßgeräten mit größerer Zeitkonstante möglich ist,
- größere Kristalle gegenüber mechanischen Erschütterungen und Temperaturschwankungen ausgesprochen empfindlich sind.

4.1.2 Dosisleistungsbestimmung der terrestrischen Strahlungs- komponenten mit einem GM-Zählrohr

E. Piesch

Das GM-Zählrohr BZ 120 wird in Kombination mit einem Energiekompensationsfilter zur Nullpegelüberwachung in der Umgebung des Kernforschungszentrums eingesetzt. Für eine aus dem Gesamtraum einfallende Strahlung liegt die mögliche Energieabhängigkeit für Quantenstrahlung im Energiebereich von 25 keV bis 1,2 MeV innerhalb $\pm 30\%$.

Eine Dosisleistungsmessung der terrestrischen Umgebungsstrahlung ist jedoch nur nach vorliegender Kalibrierung des Zählrohres möglich, wobei insbesondere die Zählrohreigenzählrate sowie der Zählratenanteil der kosmischen Strahlungskomponente ermittelt werden müssen. Die Kalibrierung erfolgte mit Hilfe von Schirmzählern in Antikoinzidenzschaltung hinter einer Abschirmung von 15 cm Stahl in der Abschirmkammer des Human Body Counters.

Es wurden hierbei für das BZ 120 mit Energiekompensationsfilter folgende Werte erhalten (19):

- die Zählrohreigenzählrate mit 41 Imp/min,
entsprechend 1,7 $\mu\text{R/h}$,
- der kosmische Strahlungsanteil mit 80 Imp/min,
entsprechend 3,25 $\mu\text{R/h}$,
- die terrestrische γ -Strahlungskomponente im Freien in 15 m Höhe
mit 135 Imp/min,
entsprechend 5,5 $\mu\text{R/h}$.

Der für den kosmischen Strahlungsanteil ermittelte Wert zeigt eine relativ gute Übereinstimmung zu anderen in der Literatur angegebenen Meßwerten.

4.1.3 Die γ -Diskriminierung von Rem-counter

E. Piesch

Zum Nachweis von Neutronen werden heute im Strahlenschutz ausschließlich Rem-counter benutzt. Da Neutronen des öfteren gemeinsam mit einer nicht unbeträchtlichen γ -Komponente auftreten, wurde die Frage näher untersucht, welche γ -Empfindlichkeit die verschiedenen kommerziell angebotenen Rem-counter besitzen. Zur Ermittlung der γ -Diskriminierung wurde die Änderung der Rem-counteranzeige in einem Neutronenstrahlungsfeld von 200 mrem/h bei gleichzeitigem Auftreten einer γ -Strahlung variabler Dosisleistung näher untersucht (Abb. 13). Danach zeigen Rem-counter mit ^3He -Zählrohren bzw. mit BF_3 -Zählrohren die beste γ -Diskriminierung.

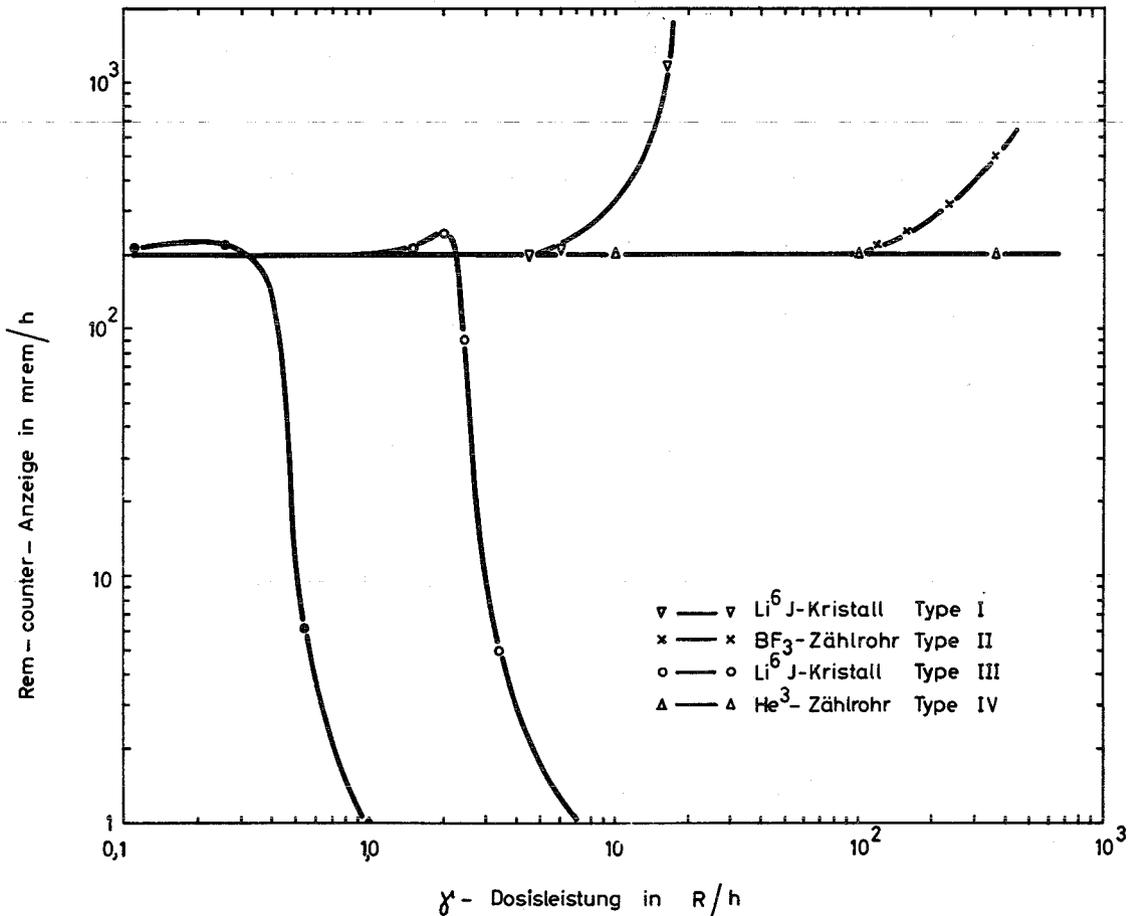


Abb.13: γ -Diskriminierung versch. Rem-counter Typen

Es gibt jedoch auch kommerzielle Rem-counter, die schon oberhalb einer γ -Dosisleistung von 400 mR/h einen Abfall der Neutronenzählrate auf Null zeigen. Eine vom Gerätetyp her bedingte ungünstige Impulshöhendiskriminierung kann außerdem durch eine vom Benutzer vorgenommene Nachkalibrierung in nichtreproduzierbarer Weise verschlechtert werden (20).

Die Untersuchungen zeigen, daß die γ -Diskriminierung nicht allein durch die Art des Detektors, sondern im wesentlichen durch den Arbeitspunkt des Detektors und der zugrundegelegten Elektronik bestimmt wird. Zusätzlich zu einer Neutronenkalibrierung sollte daher zweckmäßigerweise bei jedem Gerät eine Überprüfung der γ -Diskriminierung vorgenommen werden.

4.2 Dosimetrie

4.2.1 Phosphatglasdosimetrie

E. Piesch

4.2.1.1 Methode zur differentiellen Auswertung von Phosphatglasdosimetern

Bei der neuen differentiellen Auswertemethode erfolgt die Fluoreszenzanregung nicht im gesamten Glaskörper, sondern über eine Schlitzblende kontinuierlich in verschiedenen Glastiefen. Aus dem Abfall der Tiefendosisverteilung im Glas kann bei Abtastung in Strahleneinfallrichtung eine Strahlenqualität im Energiebereich 10 keV - 600 keV ermittelt werden. Die Strahleneinfallrichtung ergibt sich, wenn das Glas in drei zueinander senkrechten Ebenen abgetastet wird. Eine Dosisbestimmung erfolgt aus dem Meßwert in einer vorgegebenen Glastiefe unter Berücksichtigung eines energieabhängigen Korrekturfaktors (Faktor 1 bis 3) (11).

Die neue Auswertemethode wurde vorteilhaft eingesetzt zur Bestimmung der Halbwertsschicht und des Homogenitätsgrades von Röntgenstrahlung und zur Ermittlung der Energie- und Dosisanteile von Strahlungsgemischen insbesondere von Röntgenstrahlung unterschiedlicher Strahlenqualität (12). Eine Analyse von Strahlungsfeldern ist für die Beurteilung einer Personengefährdung bei speziellen Arbeiten in Isotopenlabors und an Beschleunigern von besonderem Interesse. Abb. 14 zeigt Tiefendosiskurven, die von verschiedenen Plutonium- und Americiumquellen herühren.

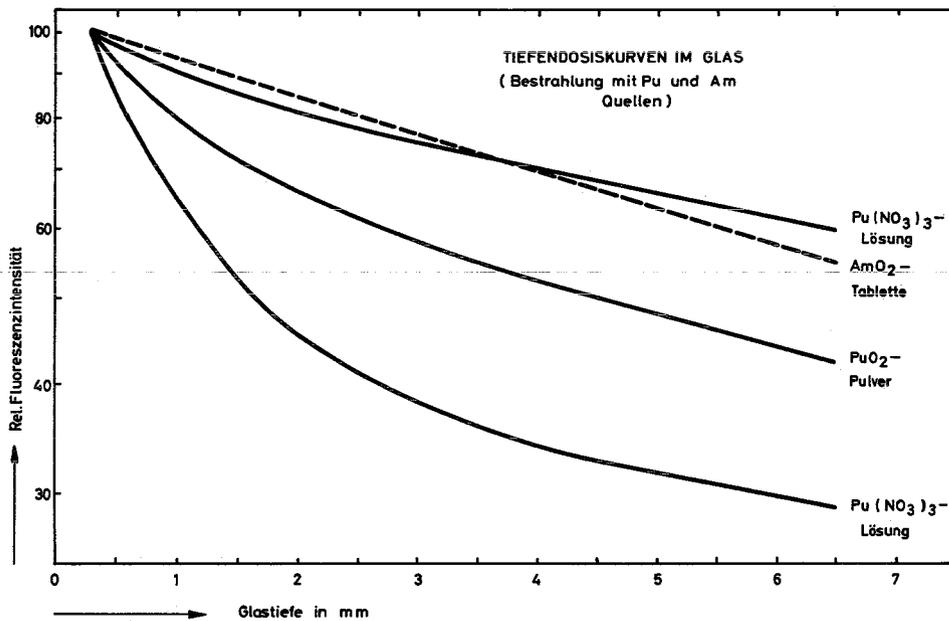


Abb.14: Tiefendosiskurven im Glas bei Strahlungsgemischen

Für die energiereiche Strahlungskomponente wurde eine effektive Quantenenergie von 18 keV, für die energiereiche Komponente Quantenenergien von 60 keV bis 72 keV ermittelt. Die dabei bestimmten Dosiswerte lagen um 25 % niedriger als bei LiF-Dosimetern und um 30 % höher als bei Filmdosimetern.

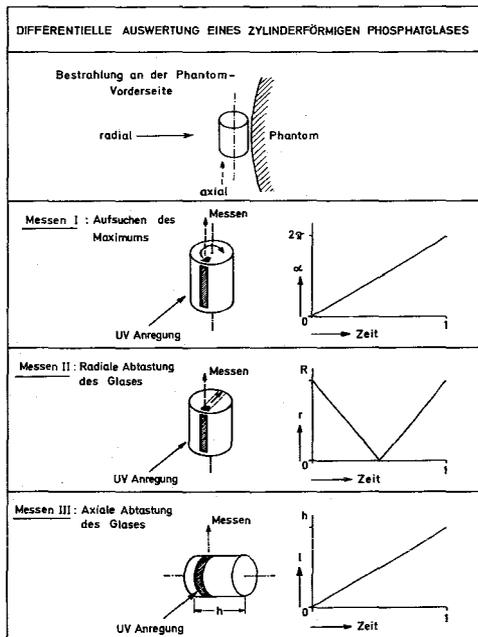


Abb.15: Differentielle Auswertung eines zylinderförmigen Phosphatglases

Es wurden Phantommessungen mit verschiedenen Glasdosimetern mit dem Ziel durchgeführt, ein geeignetes Personendosimeter zu finden, welches neben einer Dosismessung zusätzliche Aussagen über die Richtung des Strahleneinfalles und über die Strahlenqualität vor allem auch bei Bestrahlung der Phantomrückseite ermöglicht. Für ein zylindrisches Glasdosimeter wird zur Zeit eine entsprechende Vorrichtung zur Abtastung des Glases in drei verschiedenen Richtungen gebaut. Die Ermittlung der Strahleneinfallrichtung erfolgt hierbei durch Drehen des Glases

um die Zylinderachse (Aufsuchen des Maximums). Danach erfolgt eine radiale Abtastung des Glases in Strahleneinfallrichtung. Es folgt eine axiale Abtastung des Glases, um auch Strahleneinfallrichtungen in der Zylinderachse zu erfassen (s. Abb. 15). Entsprechende Phantomkalibrierungen sind im Jahre 1970 vorgesehen.

4.2.1.2 Personenüberwachung mit Film- und Glasdosimetern

Unter den vorgebrachten Einwänden gegen eine Einführung von Phosphatglasdosimetern in die Routinedosimetrie - angeblich schlechtere Meßgenauigkeit im Vergleich zum Filmdosimeter, Fehlen einer langjährigen Erprobung in der Routinedosimetrie, schlechtere Nachweismöglichkeiten im Vergleich zum Filmdosimeter - wird heute der angeblich unzumutbar große Arbeitsaufwand bei der Ausmessung von Glasdosimetern besonders hervorgehoben. Tatsächlich muß jedes einzelne Glas, bei einer Sichtung der Filme jedoch nur etwa jeder zehnte Film ausgemessen werden.

Aufgrund der langjährigen Erfahrung unseres Meßlabors können zwei Personen etwa 5 000 Gläser monatlich auswerten. Vergleichbare Angaben einer amtlichen Meßstelle geben 17 Personen für 14 000 monatliche Filmüberwachungen an. Davon abgesehen bietet das Glasdosimeter die Möglichkeit einer Langzeitdosimetrie mit einer einmal jährlichen Auswertung vor allem für denjenigen Personenkreis, bei dem die innerhalb eines Jahres akkumulierte Dosis z. B. 500 mR nicht überschreitet. Dies ist die maximal zulässige Jahresdosis für Personen in Überwachungsbereichen, die gemäß Strahlenschutzverordnung zum Tragen von Dosimetern nicht verpflichtet sind. Eine monatliche Auswertung wäre dann nur bei weniger als 10 % der Überwachten notwendig. Dies führt zu bedeutend geringeren Unkosten bei Neuanschaffung und Auswertung der Glasdosimeter für den Benutzer und zu einem geringeren Arbeitsaufwand für die Meßstelle (siehe Tab. 20).

Tab. 20: Unterschiede einer Personenüberwachung mit Phosphatglas- bzw. Filmdosimetern

Anwendung		Meßgenauigkeit ⁺)	Kleinster Dosisnachweis pro Jahr	Arbeitsaufwand		
				Auswertung	Benutzerunkosten pro Jahr und Person	Meßstellen für 10 000 Überwachungen
Glas	Routine-Unfall-	± 15 %	40 mrem	monatlich (10 %)	1. Jahr: DM 33,--	2 Personen
	Aktivierungs-Dosimeter			jährlich (90 %)	2. Jahr: DM 7,30	
Film	Routine-Dosimeter	± 45 %	500 mrem	monatlich (100 %)	1. Jahr: DM 40,-- 2. Jahr: DM 36,--	10 Personen

⁺) max. Meßwertabweichung bei PTB-Kalibrierbestrahlung

Das Glasdosimeter bietet damit für eine Routineüberwachung für den Benutzer neben wesentlich geringeren Überwachungskosten

- einen größeren Meßbereich (40 mR bis 3 000 R) mit einer unteren Nachweisgrenze von 40 mR/Jahr
- eine sehr gute Meßgenauigkeit (für Kalibrierbestrahlungen $\pm 3 \%$, in der Routinedosimetrie $\pm 15 \%$) (s. Abb. 16)
- Einsparung zusätzlicher Unfalldosimeter und Neutronenaktivierungsdosimeter.



Instabilität des Auswertegerätes,
Glasverschmutzung (ab 1 R)



Dosisempfindlichkeit des Glases,
Glasverschmutzung, Auswertegerät (ab 1 R)



Absolutmessung bei definierter
Strahleneinfallrichtung (1-10 R)



Absolutmessung bei versch. Strahleneinfallrichtungen
und Energien (45 keV-12 MeV) (40mR-14 R)



Reproduzierbarkeit innerhalb der routinemäßigen
Personendosimetrie.



VARIATIONSKOEFFIZIENT

Abb.16: Meßgenauigkeit des Kugeldosimeters

4.2.1.3 Vergleichsmessungen mit Personendosimetern der Routinedosimetrie

Unter Mitarbeit auswärtiger Stellen werden schon seit etwa 6 Jahren Vergleichsmessungen innerhalb der Routinedosimetrie mit Film-, Glas- und Stabdosimetern durchgeführt, um aus der Meßwertübereinstimmung der verschiedenen Dosimeterarten Aussagen über die Meßgenauigkeit bzw. Reproduzierbarkeit von Personendosimetern unter den praktischen Voraussetzungen von Tragweise, Tragdauer und Bestrahlungsbedingungen an der einzelnen Person zu ermitteln.

Personenüberwachungen an Reaktoren zeigten nur eine relativ geringe Überbewertung der Personenbelastung durch das Filmdosimeter. Bei einer recht guten Übereinstimmung der Meßergebnisse von Stab- und Glasdosimetern wurden in verschiedenen Fällen allein beim Filmdosimeter eine 20 bis 30 %ige Überschreitung der zulässigen Dosis von 3 rem/13 Wochen festgestellt.

Phosphatglasdosimeter haben sich auch für Personenüberwachungen im medizinischen Bereich bewährt, wie eine Vergleichsuntersuchung im Jahre 1969 in einem Krankenhaus zeigte (s. Abb. 17).

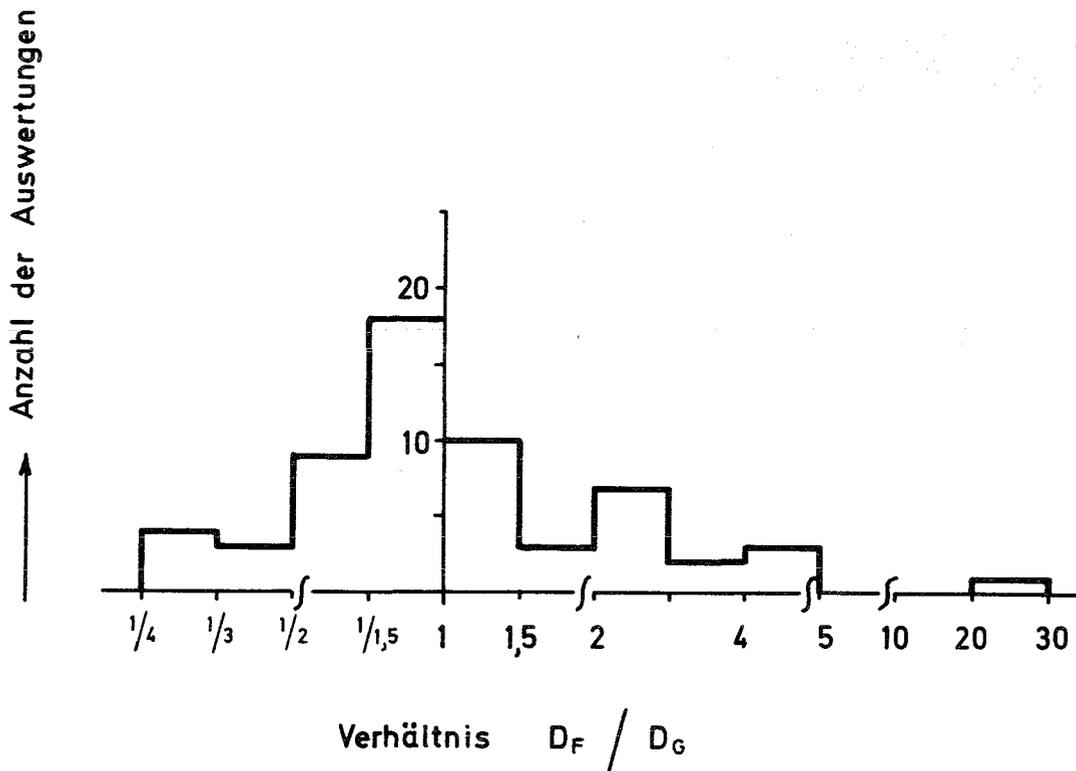


Abb.17: Verhältnis von Film - zu Glasdosis in einem Krankenhaus bei monatlicher Auswertung

Die Ergebnisse einer langjährigen Vergleichsmessung in einem Isotopenlabor zeigten die unverkennbare Tendenz, daß das Film-dosimeter bisher auch bei ausschließlich großen Dosen oberhalb 400 mR bei der monatlichen Auswertung in der Mehrzahl der Be-strahlungsfälle nur 1/2 bzw. 1/3 der Stab- bzw. Glasdosis an-zeigte (22). Während im ersten Halbjahr 1969 eine gute Überein-stimmung der Meßergebnisse aller Personendosimeterarten fest-gestellt wurde, veränderten sich in der zweiten Jahreshälfte die-se Verhältnisse sprunghaft, ohne daß sich die Arbeitsbedingun-gen im Labor geändert hätten. In mehr als 2/3 aller Fälle wurde eine Überbewertung der Personendosis durch das Filmdosimeter um den Faktor 3 - 10 festgestellt (s. Abb. 18 und 19).

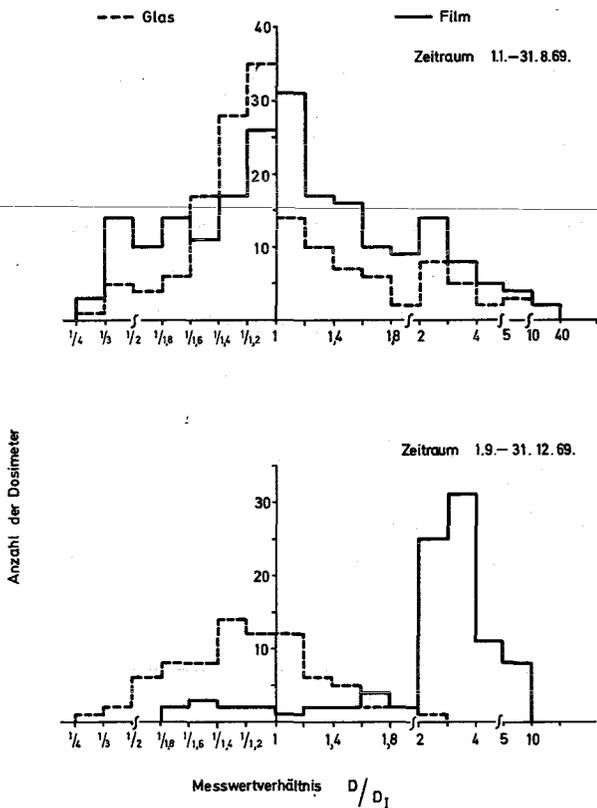


Abb.18: Vergleich von Glas- und Filmdosimeteranzeige bezogen auf die Stabdosisanzeige

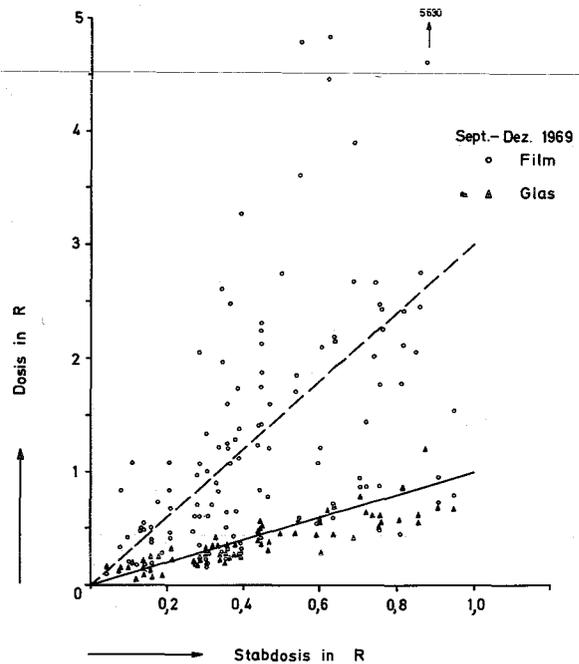


Abb.19: Abweichung der monatlichen Dosisanzeige von Stab-Glas- und Filmdosimetern

Die fragwürdigen Ergebnisse der Filmdosimeterüberwachung führten hier bei den zuständigen Strahlenschutzverantwortlichen, aber auch bei der zuständigen Aufsichtsbehörde zu einer Konfliktsituation, weil zur Beurteilung der eigentlichen Strahlenbelastung anstelle eines in der 1. Strahlenschutzverordnung vorgesehenen verwaltungstechnischen Aktes eine Ermessensentscheidung herbeigeführt werden muß. Denn nach den Bestimmungen der 1. Strahlenschutzverordnung müßte der betreffenden Person aufgrund der Anzeige des amtlichen Dosimeters beispielsweise eine Strahlenbelastung von über 25 rem/Jahr angerechnet werden. Wenn in diesen Fällen die Aufsichtsbehörde von sich aus die tatsächliche Strahlenbelastung der Person auf weniger als 5 rem einschätzt, tut sie das nur, weil ein zusätzliches Dosimeter getragen wurde, dessen Anzeige für genauer erachtet wird.

4.2.1.4 Verbessertes Konzept einer vom Strahlungsfeld und der Körperorientierung unabhängigen Personendosimetrie

Aufgrund der ICRP-Forderung, bei einer Personenbelastung die Energiedosis in den interessierenden kritischen Organen zu bestimmen, wurden die derzeitigen Möglichkeiten der Personendosimetrie einer sorgfältigen Analyse unterzogen. Von besonderem Interesse ist hierbei die Frage, mit welchen methodischen Fehlern die Abschätzung einer Energiedosis in den kritischen Organen behaftet ist, wenn man von den praktischen Nachweisverhältnissen in der Personenüberwachung ausgeht (mehrmalige Bestrahlungen in verschiedenen Strahleneinfallrichtungen).

Für eine Personendosimetrie stehen heute verschiedenartige Dosimetersysteme zur Verfügung:

- energieunabhängig anzeigende Dosimeter (Stabdosisimeter, Phosphatglaskugeldosisimeter, Thermolumineszenzdosisimeter) zeigen bei Bestrahlung der Körperrückseite um einen Faktor 2 - 5 weniger an als die Freiluftdosis,

- das Filmdosimeter liefert zumindest bei Kalibrierbestrahlungen, d. h. unter optimalen Bestrahlungsverhältnissen u. U. zusätzliche Aussagen über die Richtung des Strahleneinfalles (Unterscheidung zwischen Bestrahlung der Körpervorderseite bzw. der Körperrückseite bei energiearmer Quantenstrahlung) und über eine Strahlenqualität im Energiebereich unterhalb 100 keV, soweit es sich um einmalige Kurzzeitbestrahlung handelt,
- energieunabhängige Phosphatglasdosimeter mit einer von der Körperorientierung unabhängigen Anzeige gestatten die direkte Messung der Energiedosis in den kritischen Organen und bei differentieller Auswertung des Glases die Ermittlung der Richtung des Strahleneinfalles (Unterscheidung von Vorderseiten- und Rückseitenbestrahlung) (22).

Nach dem derzeitigen Konzept soll ein Personendosimeter die Oberflächendosis an der Körpervorderseite am Ort des Dosimeters anzeigen. Eine Abschätzung der Energiedosis im jeweiligen interessierenden kritischen Organ (gegeben in rad) erfolgt über eine Umrechnung aus der Freiluftdosis (gemessen in R). Wegen der Energieabhängigkeit und Richtungsabhängigkeit des Umrechnungsfaktors (rad/R) müssen jedoch mehr oder weniger fragwürdige Annahmen über Strahleneinfallsrichtung und Strahlenqualität für jeden einzelnen Bestrahlungsfall gemacht werden.

Nach dem neuen Konzept wird die Energiedosis in den kritischen Organen direkt mit einem Personendosimeter an der Körperoberfläche angezeigt.

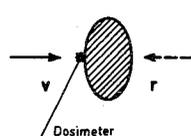
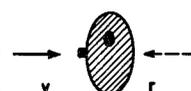
Grundsätzliche Schwierigkeiten ergeben sich in der Personendosimetrie durch eine Fehlanzeige des Personendosimeters insbesondere bei unterschiedlichen Richtungen des Strahleneinfalles sowie bei einer Inhomogenität des Strahlungsfeldes.

Aussagen über die Inhomogenität des Strahlungsfeldes können prinzipiell nicht durch zusätzliche Aussagen des Dosimeters, sondern

nur durch nachträgliche Bestrahlungsversuche erhalten werden. Hierbei wird die Dosisanzeige des Einzeldosimeters als repräsentative Dosis am Ort des Dosimeters zur Abschätzung der mittleren Organbelastung herangezogen. Die Genauigkeit einer solchen Abschätzung wird in erster Linie durch die Meßgenauigkeit des Personendosimeters bestimmt.

Der Einfluß, den der Körper des Dosimeterträgers auf die Dosimeteranzeige ausübt, ist im wesentlichen durch die vorliegende Dosimeterkonstruktion vorgegeben. Der prinzipielle Einfluß der Strahleneinfallrichtung auf die Abschätzung einer Organdosis ist in Tab. 21 für die zwei unterschiedlichen Konzepte einer Personendosismessung wiedergegeben. Eigentliche Meßfehler des Dosimetersystems wurden hierbei nicht berücksichtigt.

Tab. 21: Einfluß der Strahleneinfallrichtung auf die Abschätzung der "Personendosis"^{*)}

Dosimeteranzeige		Abschätzung der "Personendosis" aus dem Meßwert des Personendosimeters		
		Vorderseite (v)	Rückseite (r)	Untersch. Richtungen (v + r)
Konzept I	OBERFLÄCHENDOSIS 	1. Näherung für FREILUFTDOSIS $\pm 25 \%$	1. Näherung für FREILUFTDOSIS bei zusätzl. Aussage der a) Energie und Richtung $+ 30 \%$ (z. B. Glas Tiefendos.) b) der Richtung Faktor 2 (z. B. Film) c) ohne Aussage Faktor 2,5 bis 5	1. Näherung für FREILUFTDOSIS keine zusätzl. Aussagen möglich Faktor 2 bis 3 1. Näherung von FREILUFTDOSIS auf Organdosis: Faktor 2 (z. B. Film, Glas)
		1. Näherung von FREILUFTDOSIS auf Organdosis: Faktor 2		
Konzept II	ENERGIEDOSIS IM ORGAN 	1. Näherung für ORGANDOSIS $\pm 15 \%$	1. Näherung für ORGANDOSIS $\pm 30 \%$	1. Näherung für ORGANDOSIS $\pm 30 \%$ (männl. Gonaden, Magen-Darm-Trakt)

^{*)} Bei der derzeitigen Personenüberwachung werden diese Verhältnisse nicht berücksichtigt; die Dosimeteranzeige gilt als 1. Näherung für die "Personendosis".

Nach dem neuen Konzept ist die Direktmessung einer Energiedosis in den interessierenden kritischen Organen mit Hilfe eines von der Körperorientierung unabhängig anzeigenden Dosimeters um mindestens eine Größenordnung genauer als die Berechnung der Organdosis unter Zugrundelegung einer Oberflächendosismessung und einer fragwürdigen Abschätzung des Strahlenfeldes (Energie, Richtung).

4.2.2 Thermolumineszenzdosimetrie

4.2.2.1 Lithium-Fluorid-Dosimeter zur Teilkörperdosimetrie und zur Dosimetrie in gemischten Strahlungsfeldern

E. Piesch

LiF-Dosimeter der Größe 1/8" x 1/8" x 0,035" wurden - in einer Kunststoffolie von 7 mg/cm² Flächengewicht eingeschweißt - gleichzeitig mit der Laborerprobung auch als Fingerdosimeter und als Armbanddosimeter bei Arbeiten im Isotopenlabor getragen. Die Fingerdosimeter wurden kurzzeitig, die Armbanddosimeter über einen Zeitraum von 4 Wochen benutzt. Vergleichsmessungen mit Filmdosimetern und Phosphatglasdosimetern zeigten, daß das LiF-Dosimeter wegen seiner Energieabhängigkeit die Dosis energiearmer Quantenstrahlung bis zu 40 % zu hoch anzeigt. Andererseits ist es zur β -Dosimetrie geeignet. LiF-Dosimeter lassen sich mit Vorteil in gemischten Strahlungsfeldern einsetzen, wenn eine Dosimetrie mit Filmdosimetern nicht mehr mit der gewünschten Meßgenauigkeit möglich ist:

- Strahlungsfelder mit Quantenstrahlung von 18 keV und 60 keV (Isotopenlabors beim Umgang mit Plutonium und Americium),
- Strahlungsfelder mit Quantenstrahlung von 20 bis 200 keV (Umgang mit Röntgenstrahlung unterschiedlicher Energie),
- Strahlengemische mit 100 keV Quantenstrahlung und β -Strahlungsanteil (aktivierte Targets von Beschleunigern oder Reaktoren).

Einige Ergebnisse von Vergleichsbestrahlungen sind in Tab. 22 wiedergegeben.

Tab. 22: Dosimetervergleichsmessung in gemischten Strahlungsfeldern

	Rel. Meßwertanzeige		
	LiF	Glas	Film
<u>Pu-Labor:</u>			
PuO ₂ -Pulver: 18 keV/60 keV	100 %	71 - 88 %	59 %
Pu(NO ₃) ₄ -Lösung: 18 keV/72 keV	100 %	65 %	49 - 58 %
<u>Van de Graaff:</u>			
(β_{\max} = 2 MeV, Al-Target) β -Strahlung / 200 keV	100 %	63 %	18 %

Phosphatglasdosimeter ohne Kompensationsfilter lassen sich hier ebenso zur Dosismessung vor allem aber zur Analyse des Strahlungsfeldes einsetzen und sind darin dem Filmdosimeter überlegen.

Im Jahre 1969 wurde innerhalb der routinemäßigen Personenüberwachung am Zyklotron eine Vergleichsmessung mit Film- und LiF-Dosimetern durchgeführt. Das Ergebnis der monatlichen Auswertungen, und zwar das Dosisverhältnis von Film zu TLD, ist in Abb. 20 wiedergegeben. Die Überbewertung der Dosis durch das Filmdosimeter zeigt hier eine monatliche Schwankung zwischen einem Faktor 1,4 bis 2,5 (Einfluß der Filmemulsion und der monatlichen Kalibrierung). Bei LiF-Dosimetern und Phosphatglas-Kugeldosimetern wurde gute Meßwertübereinstimmung gefunden.

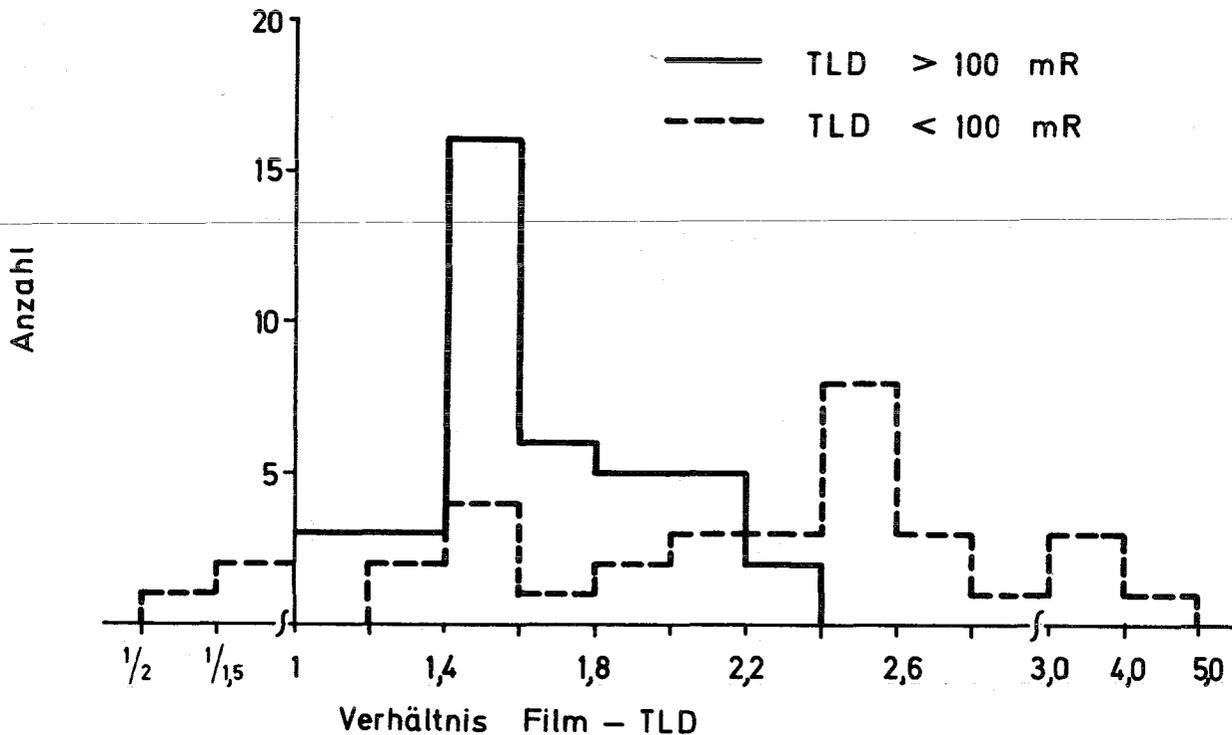


Abb.20: Verhältnis der Dosisanzeige von Film- zu LiF-Dosimetern

4.2.2.2 Kalzium-Fluorid-Dosimeter für Niederdosismessungen der Umgebungsstrahlung

E. Piesch

Kalzium-Fluorid-Dosimeter wurden auf ihre Eignung zu Dosismessungen im Dosisbereich von 1 mR untersucht. Diese Dosimeter zeichnen sich bei individueller Kalibrierung des Einzeldosimeters durch ihre gute Meßgenauigkeit und in Kombination mit einem Energiekompensationsfilter durch ihre praktische Energieunabhängigkeit aus.

Die kleinste meßbare Dosis wird durch die Vordosis und durch den Eigeneffekt des Dosimeters bestimmt. Messungen hinter 15 cm Stahlabschirmung führten unter Berücksichtigung des Strahlungsanteiles der kosmischen Strahlung zu einem Dosimereigeneffekt von 1 µR/h. Die Vordosiswerte lagen bei regenerierten Dosimetern zwischen 60 und 140 µR. Bei wiederholter Ausmessung eines jeden Dosimeters kann diese Vordosis auf ± 40 µR genau ermittelt werden. Eine Messung der natürlichen Umgebungsstrahlung bei einer 90stündigen Exposition ergab:

Gesamtmeßwert	1080 µR
abzgl. Vordosis	60 µR \pm 40 µR
abzgl. Eigeneffekt (90 Stunden)	90 µR
abzgl. Meßwertanteil für Lagerung (3 Stunden)	30 µR
Meßwertanteil der natürlichen Strahlung	900 µR \pm 40 µR

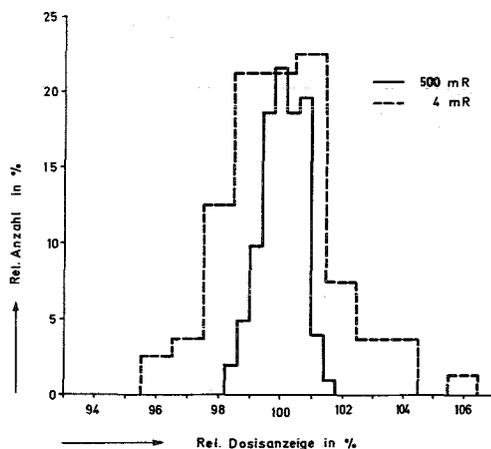


Abb. 21: Meßwertstreuung von CaF₂- Dosimetern

In Abb. 21 ist die Meßwertstreuung wiedergegeben, die bei individuell kalibrierten Dosimetern nach einer ⁶⁰Co-Bestrahlung mit 500 mR (102 Auswertungen) und mit 4 mR (80 Auswertungen) erhalten wurde. Der entsprechende Variationskoeffizient wurde zu $\pm 0,6$ % bzw. $\pm 1,9$ % bestimmt.

4.2.3 Festkörperspurendetektoren

E. Piesch

Die Fortsetzung unserer Arbeiten auf dem Gebiet der Festkörperspurendetektoren galt insbesondere dem Nachweis von Neutronen über Spaltfragmente, α -Teilchen und Rückstoßkerne in Kunststofffolien. Für die Auszählung der Ätzgruben wurden zwei Verfahren mit Erfolg angewandt:

- Eine mikroskopische Auszählung durch Anwendung der Interferenzkontrastmikroskopie,
- eine automatische Zählung über eine gesteuerte elektrische Entladung.

Die Interferenzkontrastmikroskopie bietet gegenüber den bisherigen Methoden den Vorteil einer plastischen, reliefartigen Wiedergabe der Ätzgruben sowie die Möglichkeit, mittels Interferenzfarben zwischen Ätzgruben und Bilduntergrund zusätzliche Farbkontraste zu erzeugen. Durch Auswahl einer geeigneten Interferenzfarbe (blau, gelb, grau) können Unebenheiten des Untergrundes und kleine störende Untergrundspuren unterdrückt werden, was vor allem für eine automatische Auszählung besondere Vorteile bietet. Dieses Verfahren wurde für Ätzgruben von Spaltfragmenten in Phosphatglas, Glimmer und Makrofol E angewandt. Die Größe der Ätzgruben kann durch die Ätzdauer bestimmt werden. Bei einer Auszählung von α -Ätzgruben über eine große Detektorfläche wird man hierbei große Ätzgruben (5-20 μm \emptyset), für eine autoradiographische Auswertung mit guter örtlicher Auflösung kleine Ätzgruben von etwa 1 μm \emptyset auswählen (18; 21).

Die in Chalk River entwickelte Methode zur automatischen Auszählung von Ätzgruben mit Hilfe einer gesteuerten elektrischen Entladung (JUMPING SPARK-Methode) ist zum Nachweis geringer Neutronenflußdichten vorteilhaft. Die geätzte Kunststoffolie wird hierbei zwischen einer Metallelektrode (600 V) und einer einseitig

aluminisierten geerdeten Kunststoffolie gehalten. Über eine Kondensatorentladung wird die Detektorfolie jeweils an einer Ätzgrube durchschlagen, durch ein Verdampfen des Aluminiums wird die Entladung gelöscht. Die Zahl der nacheinander erfolgten Entladungen wird über einen Zähler registriert. Gleichzeitig wird die Lochverteilung auf der Aluminiumfolie vergrößert abgebildet. Es besteht die Möglichkeit, Detektorfolien von einigen Quadrat-zentimeter Größe zu verwenden und damit einzelne Kernspuren nachzuweisen. Eine Zählung der Ätzgruben von Spaltfragmenten kann mit Makrofol E (Foliendicke 12 μ) bei Verwendung einer einseitig aluminisierten Folie im Bereich 1 - 10^4 Ätzgruben/cm² erfolgen (Abb. 22 und 23).

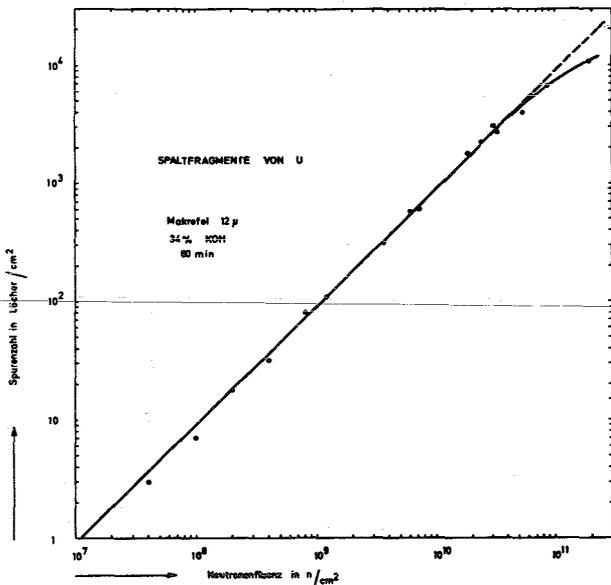


Abb.22: Abhängigkeit der Löcherdichte von der Neutronenfluenz

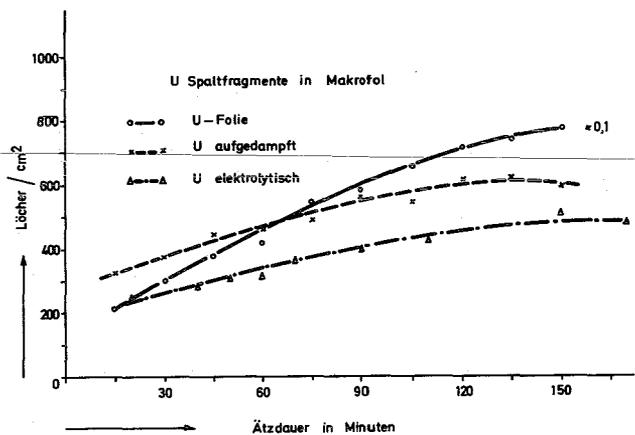


Abb.23: Einfluß der Ätzdauer auf die Löcherdichte in Makrofol.

4.2.4 Exoelektronendosimetrie

E. Piesch

Aufgrund der vielversprechenden Arbeiten von Prof. Kramer, Braunschweig, und der Arbeitsgruppe in Oak Ridge wurde im Jahre 1969 mit einem Arbeitsprogramm auf dem Gebiet der Exoelektronendosimetrie (Dosimetrie mittels thermisch angeregter Exoelektronenemission) begonnen. Im Vordergrund stand der Bau eines geeigneten Meßplatzes. Es ist vorgesehen, die eigentlichen Untersuchungen insbesondere über die Auswahl eines geeigneten Dosimetermaterials im Hinblick auf gute Reproduzierbarkeit der Dosismessung in den kommenden Jahren fortzusetzen.

4.3 Messung von Einzelnucliden

4.3.1 γ -Halbleiterspektroskopie

L. Dierkes

Im Jahre 1969 wurde ein hochauflösender Ge(Li)-Detektor zur qualitativen und quantitativen Analyse von γ -emittierenden Nuklidgemischen in Betrieb genommen.

Der Detektor, dessen empfindliches Volumen ca. 35 cm³ beträgt, wurde mit punktförmigen Eichstrahlern und mit Eichlösungen, die von der IAEA geliefert wurden, in unterschiedlichen geometrischen Anordnungen kalibriert, um möglichst alle im Bereich des Strahlenschutzes anfallende Proben unter Berücksichtigung ihrer speziellen Geometrie ausmessen zu können. Zur Messung flüssiger Proben wurden verschiedene Gefäße in Ringschalenform angefertigt, so daß Proben bis zu 1 l Volumen analysiert werden können. Die Reduzierung des Nulleffektes erfolgt durch eine starke Bleiabschirmung. Der Wirkungsgrad für ein punktförmiges ¹³⁷Cs-Präparat beträgt 0,07 %. Für den 1,332 MeV ⁶⁰Co-Übergang wurde ein Auflösungsvermögen von 3,8 keV gemessen. Die Hauptaufgabe der γ -Spektroskopie bestand darin, routinemäßig anfallende Proben und Proben, die nach Zwischenfällen genommen wurden, zu analysieren, um das Ausmaß einer Kontamination abschätzen zu können. Darüber hinaus wurden verschiedene Möglichkeiten der Anwendung des Ge(Li)-Detektors im Bereich des Strahlenschutzes erprobt und mit den Ergebnissen, die ein NaJ(Tl)-Detektor liefert, verglichen.

Im einzelnen wurden γ -spektroskopisch die folgenden Methoden untersucht:

- Analyse von γ -emittierenden Nukliden in Wasser und Abwasser des Kernforschungszentrums Karlsruhe und Kernkraftwerkes Obrigheim.
- Analyse von γ -emittierenden Nukliden in Pflanzen und Bodenproben ohne und mit Aufarbeitung, die im Rahmen der Umgebungsüberwachung im KFZK und Kernkraftwerk Obrigheim anfielen.
- Analyse von γ -emittierenden Nukliden in Aktivkohlefiltern in der Abluft des FR 2.
- Analyse von γ -emittierenden Nukliden im Heliumkreislauf des FR 2.
- Analyse von Luftstaubproben.

Die Abbildungen 24 und 25 zeigen den Vergleich einer Abwassermessung mit einem Ge(Li)-Detektor und einem NaJ(Tl)-Detektor.

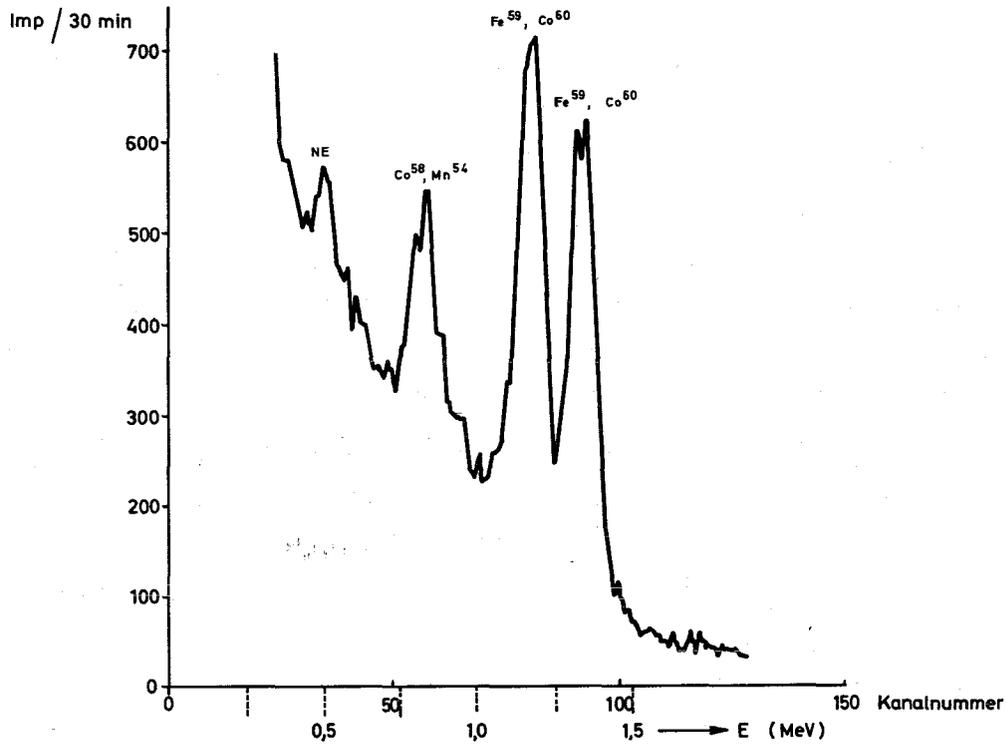


Abb.24: γ -Spektrum einer Abwasserprobe, gemessen mit NaJ (Tl)

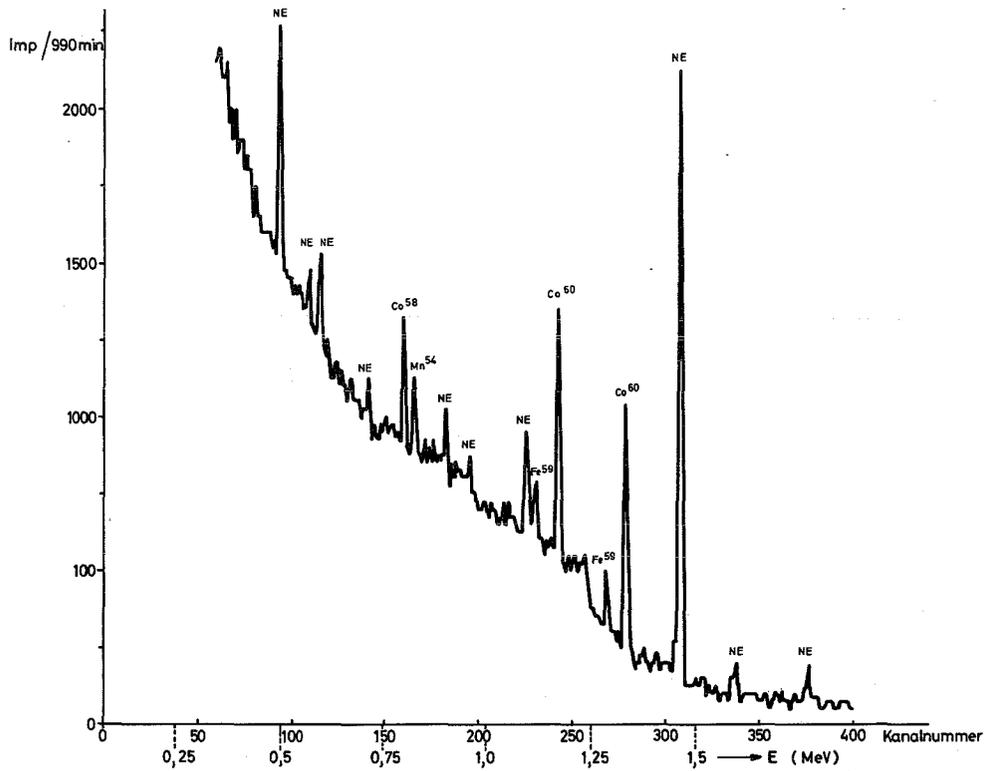


Abb.25: γ -Spektrum einer Abwasserprobe, gemessen mit Ge (Li).

4.3.2 α -Spektroskopie

L. Dierkes, H. Fessler

Für die α -Spektroskopie großflächiger Proben wurde eine zylindrische Faßkammer gebaut, die in (22) näher beschrieben wurde. Der dort erwähnte Umbau wurde im Laufe des Jahres 1969 abgeschlossen. Er bezog sich im wesentlichen auf den Austausch ungeeigneter Materialien. Die jetzige Ausführung der Faßkammer hat als innenseitige Oberflächenmaterialien nur noch hochglanzhartverchromte Metalle, Molybdän (Frisch-Gitter), Silber (Sammелеlektrode) und Teflon. Bei einer großflächigen Probe von 7000 cm² wurde ein Energieauflösungsvermögen von besser als 80 keV für die α -Strahlung des natürlichen Urans gemessen (s. Abb. 26). Die erreichte Langzeitstabilität kann als sehr gut bezeichnet werden (weniger als 10 keV Peakverschiebung während 15 Std. Meßzeit).

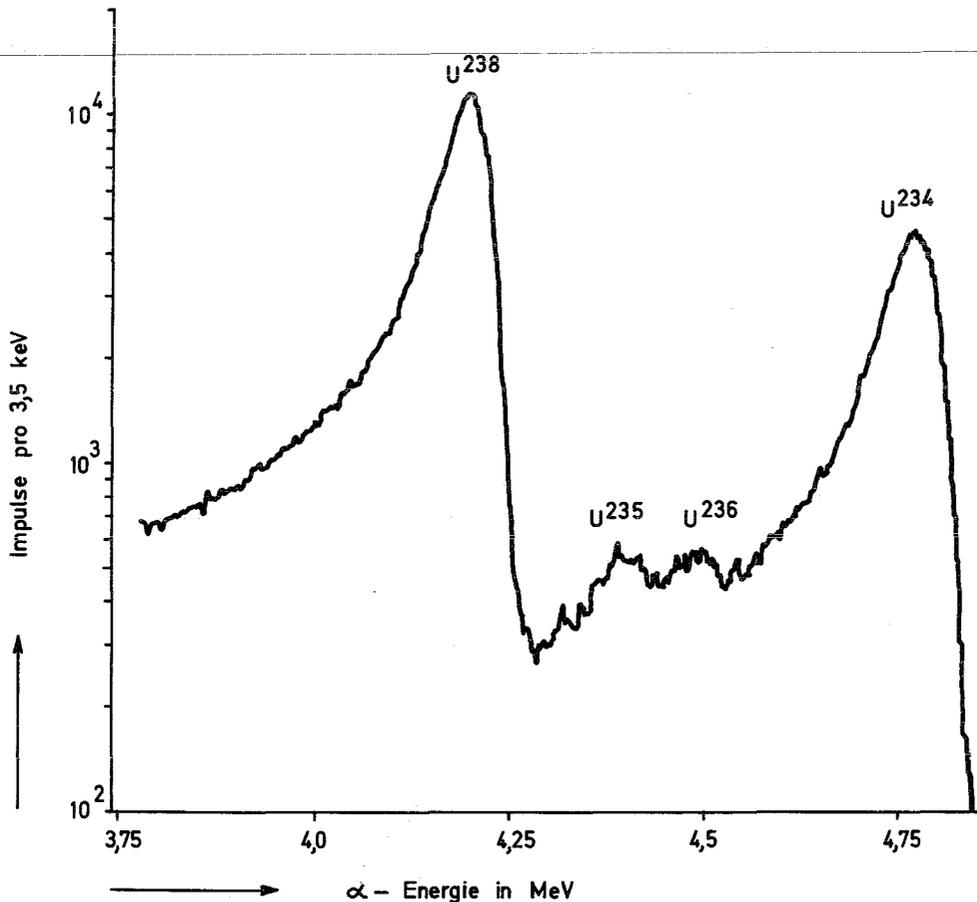


Abb.26: α -Spektrum von Uran, gemessen in der Faßkammer

Für die Messung von Plutoniumproben, die im Rahmen der Umgebungsüberwachung anfallen, wurde eine mit Argon-Methan betriebene Ionisationskammer gebaut, die in der Abb. 27 dargestellt ist.

Bei der chemischen Abtrennung wird das Plutonium beim letzten

Analysenschritt auf V2A-Plättchen

mit einem Durchmesser von 25 mm durch Elektrodeposition aufgetragen.

Die Kammer wurde für diese Plättchengröße konstruiert. Es lassen sich jedoch auch Schälchen bis zu

einem Durchmesser von 7 cm ausmessen.

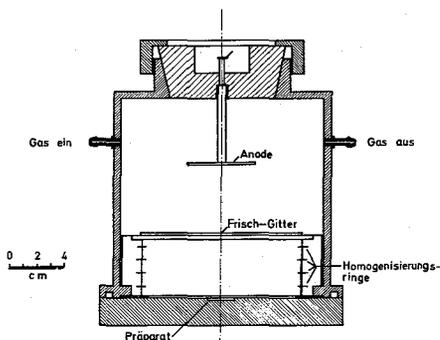


Abb. 27: Frisch-Gitter-Kammer zur α -Spektroskopie

Im Vergleich zum vorhandenen Halbleitermeßplatz, der ein Auflösungsvermögen von etwa 80 keV und einen Wirkungsgrad von 10 % aufweist,

beträgt das Auflösungsvermögen der Ionisationskammer 72 keV

und der Wirkungsgrad 32 % für die Energie der α -Teilchen des ^{239}Pu .

Die Ionisationskammer und die Faßkammer werden mit derselben Elektronik betrieben.

Die Abb. 28 zeigt das mit der Ionisationskammer

gemessene α -Spektrum eines Nuklidgemisches von ^{233}U , ^{239}Pu , ^{241}Am , ^{244}Cm und ^{252}Cf .

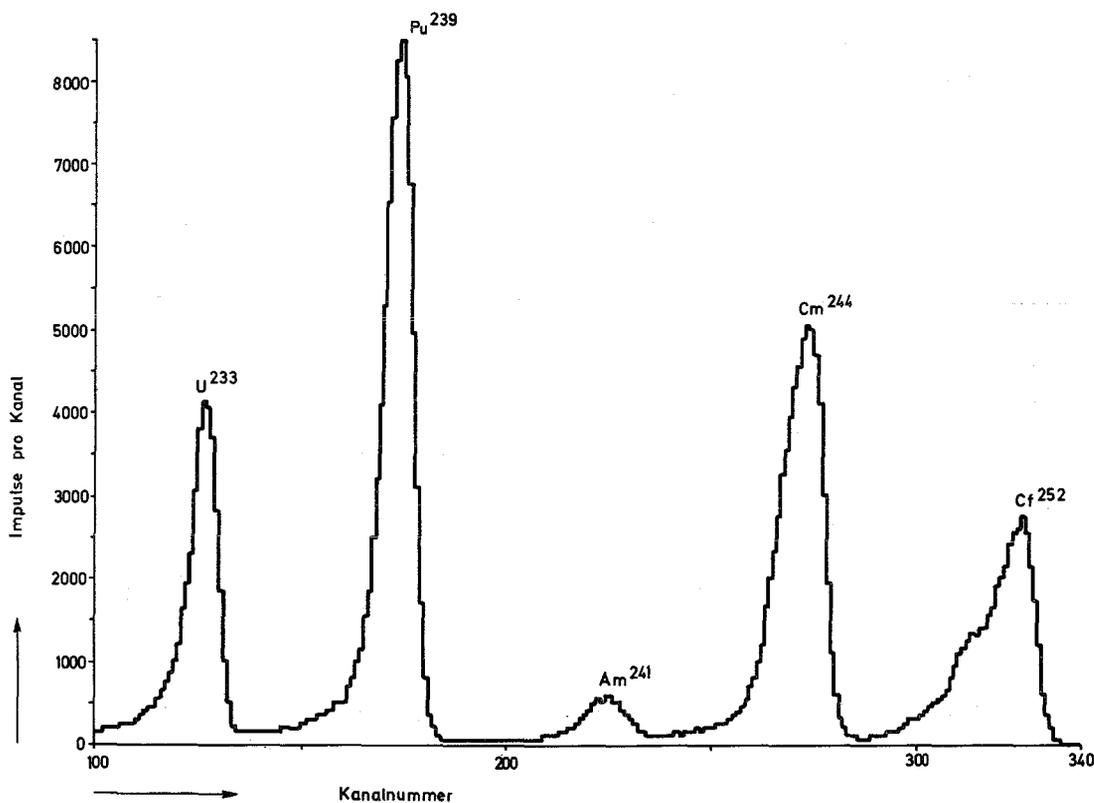


Abb. 28: α -Spektrum, gemessen mit Frisch-Gitter-Kammer

4.3.3 Messung von ^{131}J und ^{85}Kr

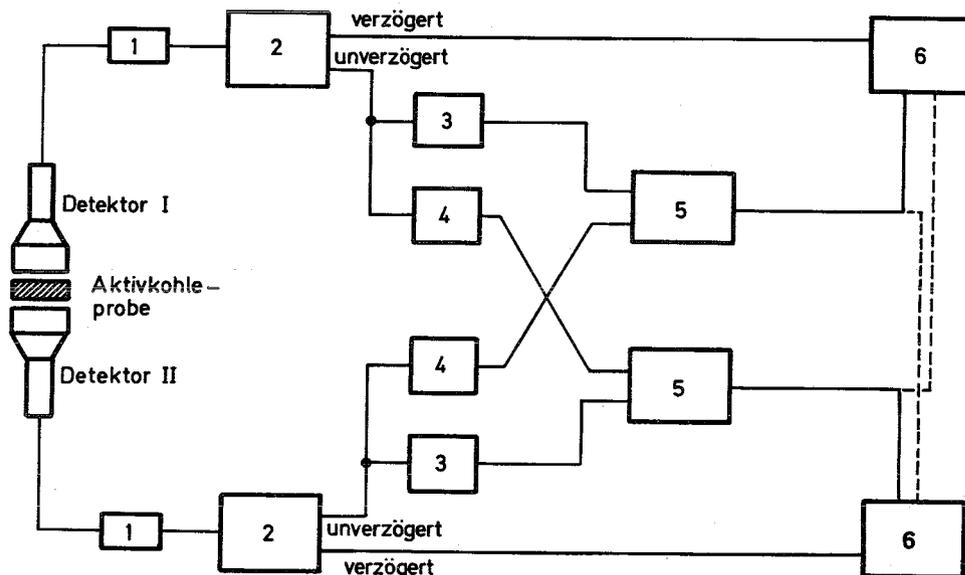
H. Fessler

Eine Identifizierung kleiner Jod-Aktivitäten, die beim Betrieb der WAK über die Abluft in die Umgebung abgeleitet werden, ist wegen des hohen Grundstrahlenpegels nur mit speziellen Meßverfahren möglich. Im Jahre 1969 wurde ein Meßprogramm mit dem Ziel begonnen, eine geeignete γ -spektroskopische Meßmethode für eine kontinuierliche Messung von ^{131}J in der Umgebung zu finden.

Die Arbeiten bestanden zunächst aus Vorplanung und Beschaffung der Apparaturen. Bei der Direktmessung von ^{131}J nach einer Anreicherung an Aktivkohle sollen insbesondere folgende Verfahren hinsichtlich ihrer Nachweisempfindlichkeit verglichen werden:

- normale γ -Spektroskopie mit NaJ(Tl)-Kristall und Ge(Li)-Halbleiterdetektor,
- γ - γ -Koinzidenz des 280 keV- und 80 keV-Übergangs,
- Compton-Spektroskopie,
- Anti-Compton-Spektroskopie.

Besondere Beachtung wird der Messung von ^{131}J neben anderen flüchtigen Spaltprodukten wie ^{135}J usw. gewidmet. In Abb. 29 ist ein Schaltbild der γ - γ -Koinzidenzanordnung wiedergegeben.



1. Vorverstärker. 3. 280 keV } Zeitbestimmender Einkanalanalysator. 5. Schnelle Koinzidenz.
2. Hauptverstärker. 4. 80 keV } (O-Durchgangstrigger)

6. Lineares Gate.

Abb. 29: Blockschaltbild zur γ - γ -Koinzidenzmessung von ^{131}J

Im Fall der Direktmessung von ^{85}Kr muß beachtet werden, daß möglicherweise nicht unerhebliche Mengen ^{41}Ar neben ^{85}Kr in der Luft vorhanden sind. Eine Meßanlage zur Messung von ^{85}Kr sollte daher eine Diskriminierung zwischen beiden Nukliden gestalten. Es ist beabsichtigt, einen Dreifach-Großflächendurchflußzähler spezieller Bauart zu verwenden. Abb. 30 zeigt das Meßprinzip und das Blockschaltbild der geplanten Anlage.

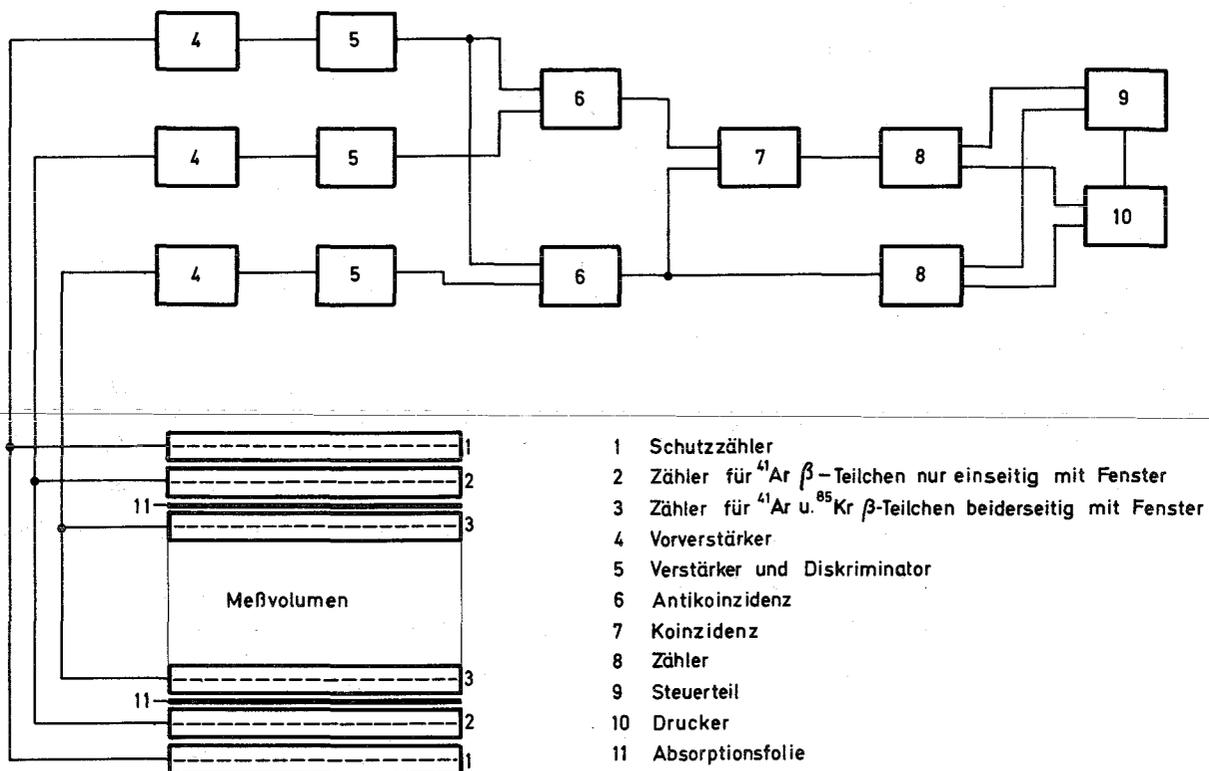


Abb.30: Blockschaltbild zur selektiven ^{85}Kr Messung

Die energieärmere β -Strahlung von ^{85}Kr wird hierbei nur im Zähler 3 nachgewiesen. Eine zwischen den Zählern 2 und 3 eingeführte Absorptionsfolie verhindert den Nachweis von ^{85}Kr im Zähler 2, ermöglicht aber noch den Durchtritt der energiereicheren β -Strahlung von ^{41}Ar , die dann im Zähler 2 gemessen wird.

4.3.4 Plutonium-Analyse

H. Schüttelkopf

Durch die Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit des Kernforschungszentrums Karlsruhe wird die Kontaminationsüberwachung auf Plutonium durchgeführt. Die Probenahme erfolgt im Rahmen der allgemeinen Umgebungsüberwachung. Die analytische Aufarbeitung bis zur Messung des Nuklids ^{239}Pu erfolgt durch die Gruppe Chemie.

Zur analytischen Aufbereitung gelangen Bewuchsproben (vor allem Kiefernadeln), Schlamm, Plankton und Niederschlagsproben. Vierteljährlich werden Bewuchsproben von vier Probenahmestellen im Bereich des Kernforschungszentrums genommen. Eine Bewuchsprobe stammt von einer Referenzstelle in Durlach. Die Probenahme für Schlamm und Plankton erfolgt im Altrheingebiet unterhalb der Abwassereinleitung des Kernforschungszentrums. Von den angeführten Proben wird pro Quartal je eine Plutonium-Bestimmung durchgeführt. Niederschlagsproben werden monatlich in den Meßhütten Nordost und West gesammelt und auf ^{239}Pu analysiert. Seit Dezember 1969, der Inbetriebnahme der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK), werden pro Quartal zusätzlich zwei Bewuchsproben aus Probenahmezonen auf der Lee-Seite des WAK-Abluftkamins (bezogen auf die Hauptwindrichtung) aufgearbeitet. Außerdem wird monatlich eine Niederschlagsprobe von einer Sammelstelle südwestlich des Abluftkamins der WAK auf den Pu-Gehalt untersucht. Die Gesamtzahl der pro Quartal untersuchten Proben beträgt daher 7 Bewuchs-, 9 Niederschlags- und je eine Schlamm- und Planktonprobe.

Die Bewuchs-, Schlamm- und Planktonproben werden wie angeliefert getrocknet und verascht. Von einer früher durchgeführten Zerkleinerung der Kiefernadeln wurde Abstand genommen, weil Verluste an anhaftendem Staub auftreten können. Außerdem wurden durch das verwendete Schneidegerät beträchtliche Mengen Eisen und vor allem Mangan (Manganstahl) in die Analyse gebracht.

Die nach dem Naßsammelverfahren oder im Hiberniatrichter gesammelten Niederschläge werden unter Unterdruck eingedampft, der Rückstand gelangt zur Analyse. Von einer getrennten Aufarbeitung des sogenannten Festniederschlages wird seit mehreren Monaten abgesehen, da der im Naßsammelverfahren erfaßte Festniederschlag zu einem beträchtlichen und wechselnden Anteil aus pflanzlichem Material (Kiefernadeln, Blätter usw.) besteht und daher durch eine getrennte Analyse keine weitere Aussage über den Plutoniumgehalt des Niederschlages gemacht werden kann.

Ziel der Analyse ist die weitgehende Beseitigung der Begleitelemente des Plutoniums und Abtrennung anderer α -Strahler. Die Entfernung des Kohlenstoffes erfolgt durch Veraschen bei 500° C, Kohlenstoffreste werden durch mehrmaliges Abrauchen mit HNO_3 und HClO_4 entfernt.

Die so behandelte Asche wird mit HF bei niedrigen Temperaturen abgeraucht, um die Silikate zu zersetzen und die Kieselsäure zu vertreiben. Der Rückstand wird mit verdünnter Salpetersäure in Lösung gebracht und evtl. vorhandener Quarzsand abzentrifugiert. Nach einer pH-Korrektur wird PuO_2^{2+} durch Einleiten von SO_2 reduziert. Die Anreicherung des Plutoniums und die Abtrennung von der Masse der Fremdionen erfolgt durch Mitfällung mit BiPO_4 .

Nach Auflösen des Niederschlages wird (bei größeren Mengen mitgefällten Eisens) eine Extraktion des Fe^{3+} als Chloridkomplex mit Diisopropyläther durchgeführt. Zur Abtrennung des Plutoniums erfolgt eine mehrfache Kupferronlösung und Extraktion des Pu-Kupferronates mit Chloroform (Fe^{3+} als Träger). Die gesammelten Chloroformphasen werden zur Entfernung des Bi^{3+} mit verdünnter HCl gewaschen und das Plutonium mit 8 m HCl in die wässrige Phase rückextrahiert.

Nach dem Eindampfen wird das Plutonium aus $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ -Lösung elektrolysiert. Die erhaltenen Meßpräparate werden α -spektrometriert.

Die Auswertung der Messungen erfolgt unter Berücksichtigung der chemischen Ausbeute des Verfahrens. Die chemischen Ausbeuten werden je Quartal bei mindestens zwei Analysen je Probenart bestimmt (Schlamm, Bewuchs, Niederschlag). Um im Routinebetrieb evtl. auftretende Gewohnheitsfehler zu erfassen, die zu Veränderungen der chemischen Ausbeute führen, werden die Ausbeutebestimmungen jeweils am Ende eines Quartals durchgeführt. Eine nennenswerte Veränderung wurde nur in einem Fall bei einer Probenart beobachtet (Schlamm). Alle Proben werden durch Parallelanalysen bestimmt.

Zur Zeit werden zwei schnelle Analysenverfahren auf ihre Eignung für die zu analysierenden Proben überprüft. Eine wesentliche Vereinfachung und Verbesserung der Plutoniumanalysen wird von der Anwendung des Leit isotops ^{236}Pu erwartet. Durch die Verwendung von ^{236}Pu werden die chemischen Ausbeuten über die vorgegebene ^{236}Pu -Aktivität unmittelbar in den einzelnen Analysengängen mitbestimmt. Die Anwendung dieses Leit isotops wird ab dem 2. Quartal 1970 möglich sein.

Die Ergebnisse der Plutonium-Analysen sind in Kap. 3.3 wiedergegeben.

5. Strahlenschutzmeßgeräte

5.1 Wartung und Reparatur

H. Edelhäuser

Zum Jahresende 1969 umfaßte die zentrale Wartung von Strahlenschutzmeßgeräten einen Bestand von 2492 Geräten bzw. getrennt zu wartenden Geräteteilen (z. B. Detektorsonden, Vorverstärker, Grundgeräte) mit einem Gesamtanschaffungspreis von 4,1 Mio. DM.

Zusätzlich waren 21 tragbare Geräte bzw. fahrbare Anlagen für die Raumluftüberwachung mit einem Anschaffungswert von 0,38 Mio. DM sowie 10 stationäre Anlagen (für Raumluft-, Abluft- und Kritikalitätsüberwachung sowie für die Strahlenüberwachung am Isochron-Zyklotron einschließlich Neutronenflugkanal) mit insgesamt 73 Meßstellen und einem Anschaffungswert von 0,76 Mio. DM zu betreuen.

An den Strahlenschutzmeßgeräten - ohne Überwachungsanlagen - wurden im Berichterstattungszeitraum 397 registrierte Reparaturen und 112 Routineüberprüfungen durchgeführt. 92 Geräte wurden zur Reparatur an den Hersteller eingeschickt, davon 39 im Rahmen von Garantieverpflichtungen.

Im Jahr 1969 wurden drei neue Luftüberwachungsanlagen mit insgesamt 11 Meßstellen installiert, in Betrieb genommen und auf Funktion geprüft.

Eine fahrbare Raumluftüberwachungsanlage mit α - β -Pseudokoinzidenz-Kompensation mußte von einem Techniker im Vollschutzanzug überprüft werden, da diese Anlage erst zwei Tage vor einem Kontaminationszwischenfall in Betrieb genommen und noch nicht funktionsgeprüft war. Die nachträgliche Überprüfung der Anlage - zur genauen Bestimmung der während des Zwischenfalls registrierten Luftaktivität - war mit großen Schwierigkeiten verbunden.

Für das Institut für Radiochemie und das Institut für Material- und Festkörperforschung wurden zwei neue Luftüberwachungsanlagen mit insgesamt drei Meßstellen geplant und bestellt.

Im Institut für Heiße Chemie wurde eine Kritikalitätswarnanlage in Betrieb genommen. Jede der sechs Meßstellen dieser Anlage besteht aus drei kompletten Meßkanälen, die zu einem "2 von 3"-System verknüpft sind. Der Nachweis der Kritikalität erfolgt über eine Gamma-Dosismessung. Das Konzept und der technische Aufbau dieser Anlage sowie die Funktionsprüfung eines Meßkanals an einem Linearbeschleuniger sind in (2) und (3) beschrieben.

Am Neutronenflugkanal des Isochron-Zyklotrons wurden eine Gamma- und drei Neutronenmeßstellen installiert, wodurch sich die Zahl der Meßstellen der Strahlenüberwachungsanlage des Zyklotrons auf 23 erhöhte. Nach Inbetriebnahme der Neutronenmeßstellen traten häufig Fehlalarme auf, die durch Abänderung des Hochspannungserzeugers, der Zählrohrauskopplung und des Vorverstärkers beseitigt wurden. Die Nachweisempfindlichkeit der Meßstellen für schnelle Neutronen - gemessen mit einer Am-Be-Quelle - beträgt seit dem Umbau $2,2 \frac{\text{ips}}{n_s \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}}$.

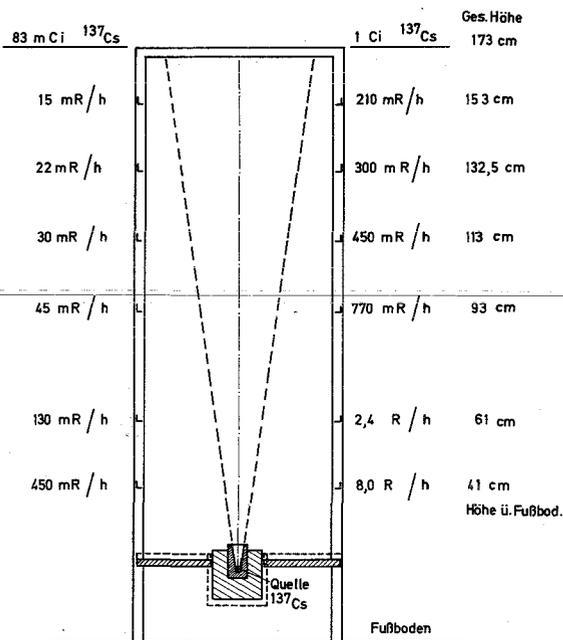
Die Abluftüberwachungsanlagen von fünf Gebäudekomplexen wurden an das Überwachungssystem der Alarmzentrale des Kernforschungszentrums angeschlossen, um dort eine Parallelanzeige der Alarm- und Störmeldungen zu erhalten. Die Anschlüsse dreier weiterer Abluftüberwachungsanlagen und der Kritikalitätswarnanlage des Instituts für Heiße Chemie sind institutsseitig fertiggestellt.

Die Übertragung erfolgt derart, daß jeweils sämtliche Alarmsignale und sämtliche Störsignale der einzelnen Meßstellen einer Überwachungsanlage in je einem Diodengatter verknüpft und über Ruhestromschleifen zur Alarmzentrale weitergeleitet werden.

5.2 Kalibrierung

H. Fessler

Die Kalibrierung aller im Kernforschungszentrum eingesetzten Dosisleistungs- und Strahlenschutzmeßgeräte wird zentral durchgeführt. Für die Kalibrierungen stehen eine Eichhalle mit einem 2000 Ci Hochdosis Eichstand und einem handbedienten Eichstand für geringere Dosisleistungen (Abb. 31) und zwei Röntgenanlagen (60 kV und 300 kV) zur Verfügung. Die Kalibrierungen erfolgen routinemäßig alle 6 bzw. 12 Monate.



Dosisleistung in verschiedenen Kalibrierpositionen

Abb.31: Eichstand für GRAETZ X10 und X50

Im Jahre 1969 wurden insgesamt 377 Kalibrierungen durchgeführt:

Jordan-Geräte	157
Graetz x 10	20
" x 50	90
" x 500	12
" x 1000	7
Rem-counter	10
Sonstige Neutronenmeßgeräte	7
Thyac 2 bzw. 3	16
Total 6150	14
" Teletector	20
Herfurth Warngeräte	11
Sonstige Geräte	13

5.3 Erprobung

H. Edelhäuser

Zur Vorbereitung größerer Gerätebestellungen wurden die Prototypen zweier neuentwickelter Strahlenschutzmeßgeräte einer ausführlichen Erprobung unterzogen. Es handelte sich dabei um den Kontaminationsmonitor TMB 2 mit Großflächendurchflußzählrohr DDB 200 der Fa. Münchener Apparatebau und den Hand-Fuß-Kleider-

Monitor 6801 der Fa. TOTAL KG mit störstrahlungskompensierten Großflächendurchflußzählrohren DDA 600. Bei der Beurteilung der Geräte wurden Konzept und technische Ausführung, mechanischer Aufbau, gute Bedienbarkeit, Servicefreundlichkeit, Meßempfindlichkeit, Anzeigegenauigkeit und Störanfälligkeit berücksichtigt.

Der Kontaminationsmonitor TMB 2 wurde zusätzlich auf eine Einsatzmöglichkeit im Freien untersucht, wobei sich ergab, daß das Gerät bei Verwendung von Butan-Zählgas bis herab zu Umgebungstemperaturen von 0° C einwandfrei arbeitet.

Der HFK-Monitor TOTAL 6801 ist unter Berücksichtigung von Arbeiten der früheren Abteilung Strahlenschutz und Dekontamination/Strahlenmeßdienst (ASD/M) entwickelt worden. Die Prüfung des Prototyps gab zu verschiedenen Änderungswünschen Anlaß, die zwischenzeitlich vom Hersteller erfüllt wurden.

5.4 Untersuchung von Materialien zum Bau von Low-Level-Zählern

H. Fessler

Der Nulleffekt von β -Detektoren hängt unter anderem von der Eigenaktivität des Zählmaterials sowie von der γ -Ansprechempfindlichkeit des Detektors ab.

Daher wurden verschiedene Materialien, die zum Bau und zur Abschirmung von Proportionalzählern dienen, auf ihre Eigenaktivität untersucht. Zur Durchführung der Meßreihen wurde ein Antikoinzidenz-Meßplatz aufgebaut, dessen Meßzähler beidseitig mit einem dünnen großflächigen Fenster versehen ist. Die Zählrate dieses Zählers, dessen Fenster (26 cm x 26 cm) mit dem jeweiligen Material in sättigungsdicker Schicht für ca. 2 MeV β -Teilchen belegt wurde, ist in 1. Näherung ein Maß für die Eigenaktivität des betreffenden Materiales. Um die γ -Ansprechempfindlichkeit des betreffenden Materiales auszuschalten und um eine möglichst hohe Meßgenauigkeit zu erhalten, wurde hinter einer Abschirmung von 10 cm Blei gemessen. In Tab. 23 sind die Ergebnisse der Messungen für verschiedene Materialien wiedergegeben.

Tab. 23: Eigenzählrate von verschiedenen Zählermaterialien bei sättigungsdicker Schicht

Material	Eigenzählrate in Imp/min
Plexiglas	24
PVC	25
Stahlblech, technisch	27
Zinn, technisch	97
Aluminium, rein	150
Aluminium, technisch	175
Blei	350
Zinn, rein	1360

In dieser Eigenzählrate des Materials ist der Eigeneffekt des Meßzählers mitenthalten. Allerdings zeigt die Häufung der Meßergebnisse bei ca. 25 Imp/min, daß dieser Wert nicht allzuweit von dem Meßwert bei völlig inaktivem Material entfernt liegt.

Die Meßergebnisse zeigen, daß es nicht ausreichend ist, reine Materialien zum Bau von Low-Level-Zählern zu verwenden. In jedem Fall empfiehlt sich vor Einbau des Materials eine Prüfung auf Eigenaktivität.

5.5 Elektronische Entwicklungen

5.5.1 Zählrohrplateau-Schreiber

H. Edelhäuser

Es wurde eine Apparatur zur automatischen Aufnahme der Spannungscharakteristik verschiedener Strahlungsdetektoren aufgebaut. Das Gerät besitzt vier Meßkanäle mit je einem Linearverstärker mit Abschwächer, einem Schmitt-Trigger und einem Kabeltreiber sowie ein gemeinsames Ratemeter, einen Schreiber, eine Hochspannungs- und eine Steuereinheit. An die unterschiedlich ausgelegten Verstärkereingänge können Proportionalzählrohre, GM-Zählrohre, Szintillationssonden oder Sonden mit festangebauten Vorverstärkern und Ausgangs-

impulsen positiver oder negativer Polarität angeschlossen werden. Bei der automatischen Aufnahme der Spannungscharakteristik wird die Detektorspannung von höheren zu niedrigeren Werten geregelt. Der Steuereinschub sorgt für eine synchrone Regelung des Papiervorschubs und des Hochspannungsrücklaufs.

Die Betriebsdaten des Gerätes sind:

Hochspannung: regelbar zwischen 0,25 und 4,5 kV

Eingangsempfindlichkeit: ≥ 1 mV

Ratemeter-Meßbereich: 10^2 , 3×10^2 , 10^3 , 10^6 ipm

Ratemeter-Dämpfungszeiten: regelbar in 12 Stufen zwischen
0,1 und 300 sec.

Abszissentheilung des Schreiberpapiers: wählbar (abhängig vom vorgewählten Hochspannungsbereich) zwischen 5 und 1800 V/cm.

5.5.2 Zählrohr-Meßkopf mit log-Ratemeter für den Meßbereich 10 mR/h bis 1000 R/h

A. Schmitt

Im Kernforschungszentrum Karlsruhe wird zur Umgebungsüberwachung die Dosisleistung an verschiedenen Meßorten entlang der äußeren Umzäunung sowie innerhalb des Zentrums mit der Zählrohr-Monitor-Anlage ZMA-67 gemessen und kontinuierlich registriert (22). Das wesentliche Merkmal dieser selbstgefertigten Anlage ist die Verwendung von energiekompensierten Zählrohren und Meßköpfen, die einen Hochspannungsgenerator und ein komplettes log-Ratemeter enthalten. Die Stromversorgung und Meßwertübertragung kann dabei über ein un abgeschirmtes dreiadriges Kabel mit Längen bis zu einigen Kilometern erfolgen. Zwei Arten von Meßköpfen sind im Einsatz, mit denen die Meßbereiche von 10 μ R/h bis 10 mR/h und von 1 mR/h bis 1 R/h erfaßt werden.

Zur Erweiterung dieser Anlage wurden neue Zählrohr-Meßköpfe entwickelt, die über 5 Dekaden im Bereich von 10 mR/h bis 1000 R/h arbeiten. Das bewährte Prinzip und der wasserdichte Aufbau wurden beibehalten. Als Detektor wird das Zählrohr VALVO 18523 mit einem Energiekompensationsfilter benutzt. Die Entwicklungsprobleme lagen einmal darin, daß das Zählrohr bei hohen Dosisleistungen bis zu 100 μ A Strom zieht und ein relativ schräges Plateau besitzt. So

mußte ein neuer Hochspannungsgenerator mit Stabilisierung gebaut werden. Weiterhin wurden die Form der Zählrohrimpulse bei sehr hohen Dosisleistungen untersucht und die Eingangs-, Verstärker- und Impulsformerschaltungen entsprechend dimensioniert. Die Ansprechschwelle wurde bei 50 mV festgelegt. Größte Aufmerksamkeit erforderte die Temperaturstabilisierung. Trotz des sehr weiten Meßbereiches von 5 Dekaden konnte erreicht werden, daß im Temperaturbereich zwischen $- 20^{\circ} \text{C}$ und $+ 50^{\circ} \text{C}$ der Anzeigefehler durch die Temperaturabhängigkeit der gesamten Elektronik kleiner als 10 % ist.

5.5.3 Untersuchungen am GM-Zählrohr BZ 120

A. Schmitt

Die Eigenschaften eines Geiger-Müller-Zählrohres werden durch Plateaukurven, die Energie- und Richtungsabhängigkeit, die Totzeit, den effektiven Querschnitt für Bestrahlung und den Wirkungsgrad für Gammastrahlung beschrieben. Einige dieser Größen sind für das Zählrohr BZ 120 aus der Literatur bekannt. Während Energie- und Richtungsabhängigkeit durch Abmessungen und Materialien bestimmt sind und damit konstant bleiben, verschiebt sich der Einsatz der Plateaukurve mit der Temperatur und zunehmender Alterung. Quantitative Angaben hierfür sind noch nicht veröffentlicht.

Um eine lange Lebensdauer zu erreichen, empfiehlt die Herstellerfirma, den Arbeitspunkt nur 50 Volt oberhalb der Einsatzspannung zu wählen. Beim Dauereinsatz ist man dann aber gezwungen, mit zunehmender Alterung die Plateaukurve wiederholt aufzunehmen und die Hochspannung nachzustellen. Frühere Untersuchungen hatten ergeben, daß die Totzeit rd. 120 μs beträgt und bei Alterung auf etwa 170 μs ansteigt, wobei die Totzeit keine exakte Konstante ist, sondern selbst von der Zählrate abhängt.

Für die Entwicklung von Strahlenmeßgeräten kann man aber mit der Angabe der Totzeit allein wenig anfangen. Hier interessiert die Amplitude der Zählrohrimpulse abhängig von der Impulsrate, der Temperatur und der Alterung. Man wird auch versuchen, durch zweckmäßige Wahl der Eingangsschwelle und der Hochspannung solche Betriebsbedingungen zu finden, die bei möglichst langer Lebensdauer des Zählrohres eine Kontrolle der Plateaukurve und eine Neueinstellung der Hochspannung überflüssig machen. Zu diesem Zweck wurden fabrikneue Zählrohre Type BZ 120 untersucht, ebenso auch gebrauchte, die über ein Jahr lang im Freien eingesetzt waren. Abb. 32 zeigt als Beispiel die Impulshöhenverteilung in Abhängigkeit von der Zählrate.

Abb.32: Impulshöhenverteilung in Abhängigkeit
von der Zählrate eines BZ 120 (NEU)

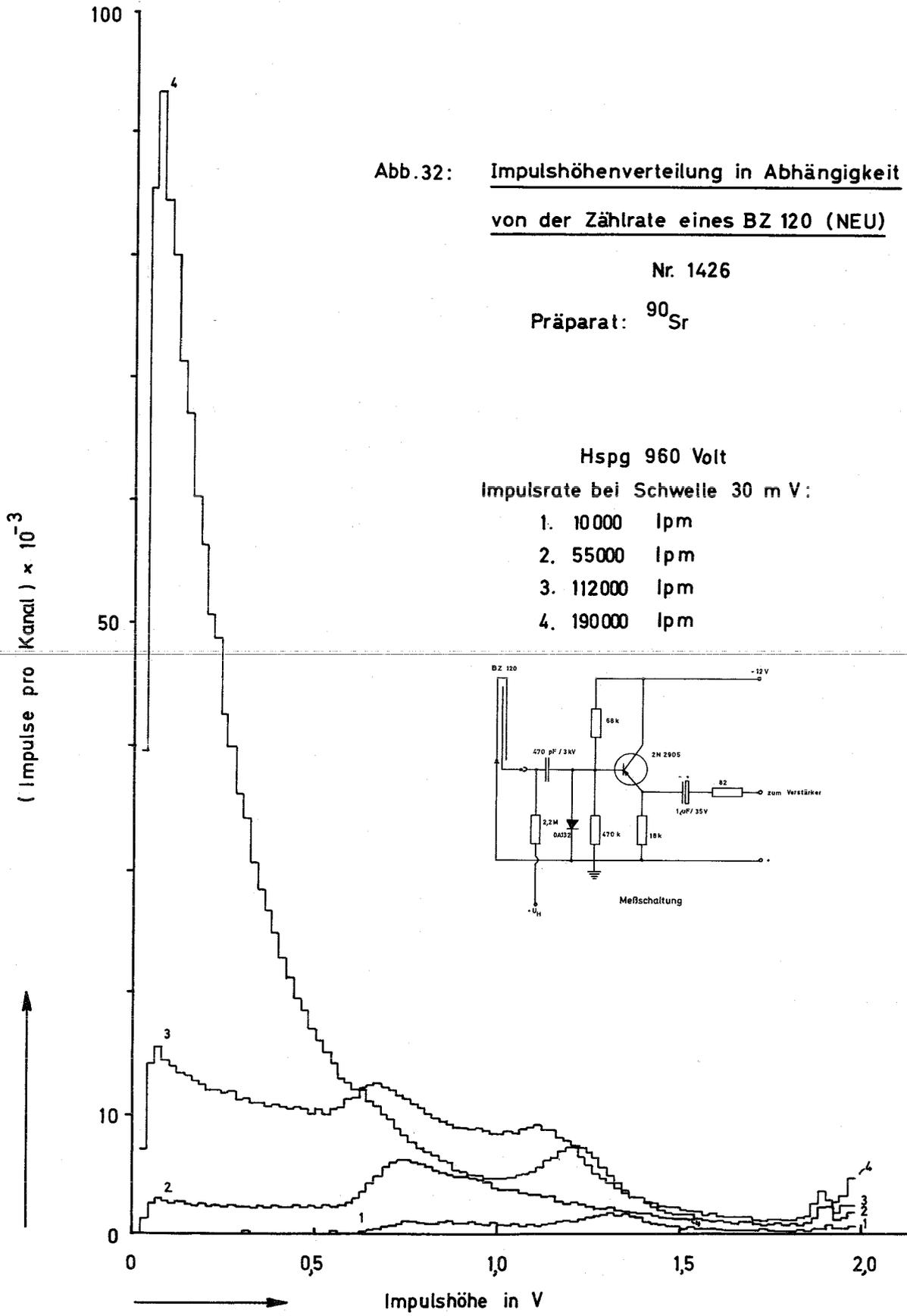
Nr. 1426

Präparat: ^{90}Sr

Hspg 960 Volt

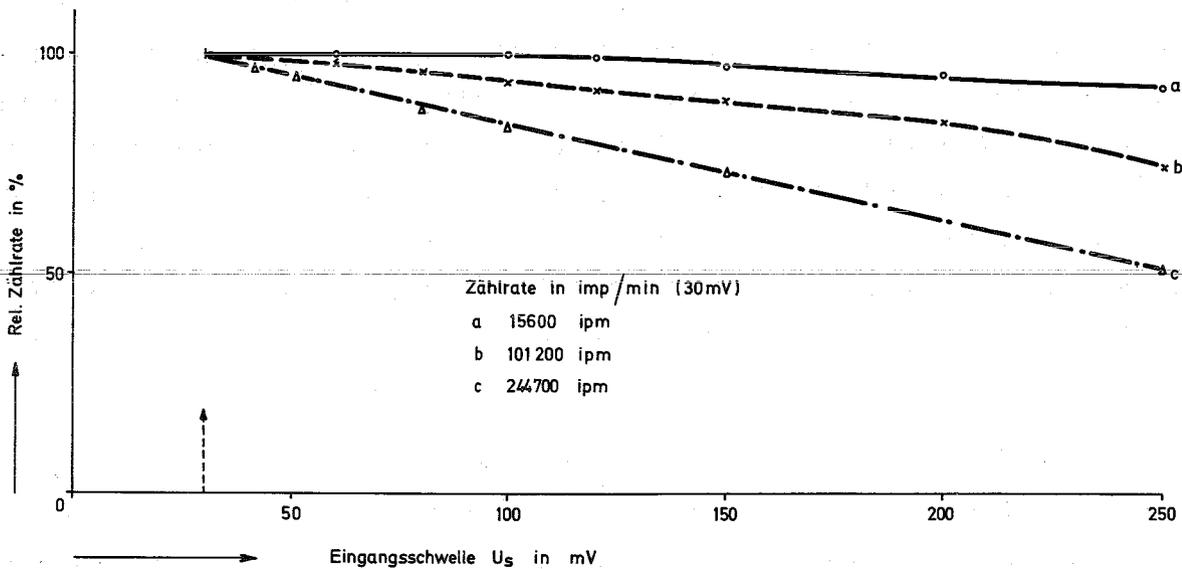
Impulsrate bei Schwelle 30 mV:

- 1. 10000 lpm
- 2. 55000 lpm
- 3. 112000 lpm
- 4. 190000 lpm



Bei diesem Zählrohr ist der Zähl draht durch Glasperlen in drei Abschnitte unterteilt. Je nach der Einstrahlungsrichtung kann sich eine Entladung über einen oder mehrere Abschnitte ausbilden und verschieden hohe Impulse erzeugen. So erklären sich die Maxima bei niederen Impulsraten. Bei höheren Raten erhält man durch den Totzeiteffekt vorwiegend kleine Impulse. Abb. 33 zeigt die Totzeitverluste in Abhängigkeit von der Eingangsschwelle und der Impulsrate.

Abb.33: GM-ZÄHLROHR TYP BZ 120 Nr. 1426 (Neu)
Abhängigkeit der Meßrate von Eingangsschwelle und Impulsrate
(Werte bezogen auf entsprechende Meßrate bei $U_s = 30$ mV)
Hochspannung 980 V



Aus dieser Kurve und aus den Messungen vieler Plateaukurven im Temperaturbereich von -20° C bis $+50^{\circ}$ C ergaben sich folgende Schlußfolgerungen:

Mit einer Eingangsschwelle von 30 bis 50 mV und einer Hochspannung von 980 V können Zählrohre Type BZ 120 rund 1 1/2 Jahre lang im Freien eingesetzt werden, ohne daß eine Kontrolle des Plateaus oder ein Nachstellen der Hochspannung erforderlich ist. Sie können auch ohne Nachkalibrierung ausgetauscht werden. Dabei ist der Meßfehler durch Alterung oder extreme Temperaturen auch bei hohen Impulsraten kleiner als 20 %.

5.5.4 Ein Schreiberverstärker für den Anschluß an Strahlenmeßgeräte

A. Schmitt

Strahlenmeßgeräte besitzen zumeist Schreiberausgänge mit eingepprägter Spannung. Üblich sind z. B. Ratemeter nach den Richtlinien des ESONE-Systems, die bei einer Ausgangsspannung von 0 - 10 Volt maximal mit 6 mA belastbar sind. An solche Geräte können sehr verschiedenartige Schreiber angepaßt werden. Es sind jedoch auch Strahlenmeßgeräte im Einsatz, deren Schreiberausgänge einen kleineren Ausgangsspannungsbereich besitzen und die weniger belastbar sind.

Bei der Fernregistrierung über lange Leitungen arbeitet man besser mit eingepprägtem Strom, da hierbei der Leitungswiderstand nicht in die Eichung eingeht. Weiterhin möchte man dann auch meist billige und robuste Stromschreiber verwenden, wie sie z. B. in Schaltwarten in größerer Stückzahl eingesetzt werden. Linienschreiber mit 1 mA bis zu solchen mit 10 mA Vollausschlag sind hier üblich. Dann braucht man aber zur Anpassung Stromverstärker, deren Ausgangsstrom proportional zu der vom Strahlenmeßgerät gelieferten Eingangsspannung ist. Geeignete kommerziell erhältliche Stromverstärker sind teuer und haben lange Lieferzeiten.

Da für die Umgebungsüberwachung innerhalb des Kernforschungszentrums Karlsruhe mehrere Meßwerte fernregistriert werden sollen, wurde ein Schreiberverstärker entwickelt, der sich durch Einfachheit und universelle Verwendbarkeit auszeichnet. Das Schaltbild Abb. 34 zeigt, wie sich heute durch die Verwendung von linearen integrierten Schaltkreisen hochwertige Schaltungen mit geringem Aufwand realisieren lassen, so daß ein Eigenbau sinnvoll sein kann. Die Gegenkopplung wird hier an einer Widerstandskombination abgegriffen, die in Reihe mit dem über lange Zuleitungen angeschlossenen Schreibermeßwerk geschaltet ist. Damit wird der Ausgangsstrom proportional zur Eingangsspannung. Die Leerlauf-Spannungsverstärkung des Operationsverstärkers $\mu\text{A} 741\text{C}$ ist sehr hoch, und so kann die Gegenkopplung so stark gemacht werden, daß die Kenndaten der Schaltung praktisch unabhängig von den Eigenschaften des Operationsverstärkers sind und nur durch die Widerstände bestimmt werden. Die

Schaltung kann daher aus einer ungestabilisierten Stromversorgung betrieben werden. Durch die Verwendung von Metallschichtwiderständen an einigen kritischen Stellen ist die Temperaturstabilität so gut, daß bei Arbeitstemperaturen bis über $+ 50^{\circ} \text{C}$ keine Abweichungen des Anzeigewertes festgestellt werden können. Die ausgeführte Schaltung ist so dimensioniert, daß an dem symmetrischen Eingang eine Meßspannung mit 2,5 Volt Vollausschlag angelegt werden kann. Der Einstellbereich des Ausgangs ist durch die Höhe der Betriebsspannung und die maximale Ausgangsleistung des verwendeten Operationsverstärkers gegeben. Vorgesehen ist der Anschluß von 1 mA-Schreibern über eine mehrere Kilometer lange Telefonleitung, wobei der Schleifenwiderstand rd. 10 kOhm betragen darf. Es können aber auch 5 mA-Schreiber mit einem Schleifenwiderstand bis etwa 2 kOhm angepaßt werden, und bei Verwendung geeigneter Nebenwiderstände ist der Anschluß hochohmiger Kompensationsschreiber möglich. Mit dem Operationsverstärker Type $\mu\text{A 741 C}$ ist die Schaltung kurzschlußsicher und ohne besondere Maßnahmen stabil.

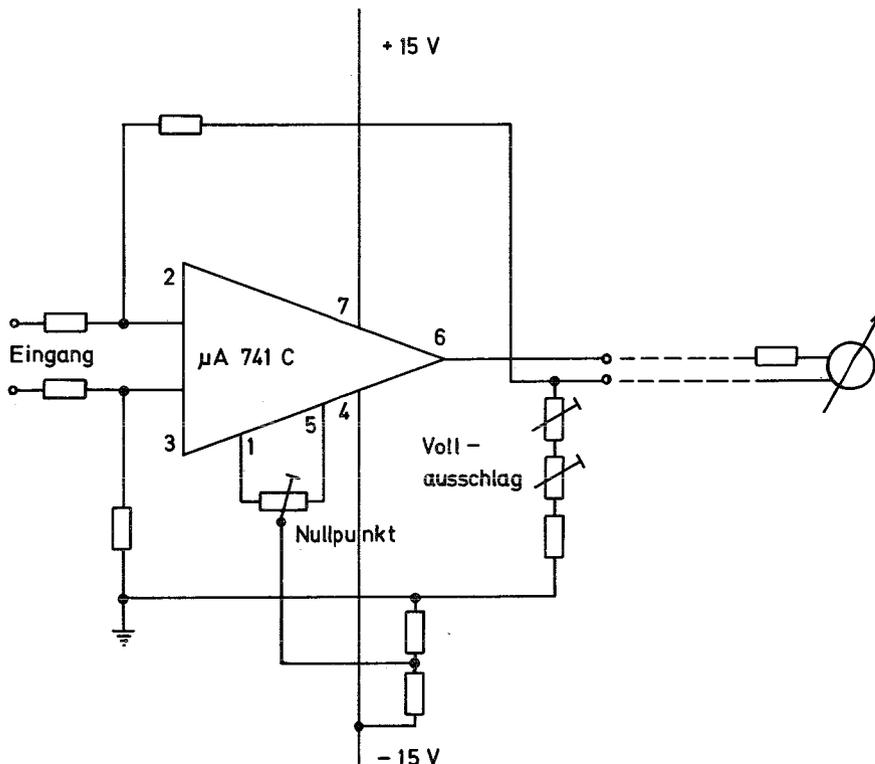


Abb.34: Schaltbild des Schreiberverstärkers

5.5.5 Selbstanrufender Signalgeber für Strahlenpegelüberwachungen

E. Heist

Seit Jahren sind anrufbare Signalgeber in den umliegenden Ortschaften des Kernforschungszentrums installiert. Sie werden täglich zweimal telefonisch angerufen und geben mittels einer Folge von zwei Tonfrequenzen eine Anzeige der augenblicklichen Zählrate eines Zählrohres und den genauen Zählstand eines mit diesem Zählrohr verbundenen Zählspeichers.

Dieser Signalgeber sollte dahingehend ergänzt werden, daß er zusätzlich von sich aus anruft, falls die Zählrate eine eingestellte Schwelle überschreitet. Zu diesem Zwecke wurde ein elektronischer Rufnummergeber entwickelt, eine Schaltlogik sowie ein Absender-Entschlüssler für die Zentrale sind im Bau.

6. Jodfilterprogramm

H. Schüttelkopf, J. Wilhelm

6.1 Abscheidung von radioaktivem Methyljodid mit festen Adsorbermaterialien

Als Adsorbermaterial für Spaltjod wird z. Z. imprägnierte Aktivkohle eingesetzt. Die Leistung dieses Materialies ist von den Eigenschaften der Aktivkohle, der Imprägnierung und den Betriebsbedingungen abhängig. Durch Brennbarkeit und relativ niedrige Desorptionstemperaturen wird der Einsatz von imprägnierten Aktivkohlen zur Abscheidung von Spaltjod aus den Abgasen kerntechnischer Installationen eingeschränkt. Treten höhere Abgastemperaturen auf oder ist mit einer starken Erwärmung des Adsorbermaterials durch die Zerfallswärme von radioaktiven Spaltprodukten zu rechnen, müssen nichtbrennbare, temperaturfeste Adsorbermaterialien für die Spaltjodfilter verwendet werden. Aktivkohlen, Molekularsiebe und Katalysatorträger verschiedener Präparation wurden auf ihre Verwendbarkeit in Spaltjodfiltern untersucht. Da elementares Spaltjod in jedem Fall leichter abzuscheiden ist als Methyljodid, die am häufigsten vorkommende organische Komponente des Spaltjodes, wurden die hier beschriebenen Untersuchungen mit radioaktiv markiertem Methyljodid als Prüfmedium für Spaltjodadsorbermaterialien durchgeführt.

6.1.1 Versuche mit Linde Molekularsieben, Typ 13 X, Ag-Form (LMS 13 X-Ag)

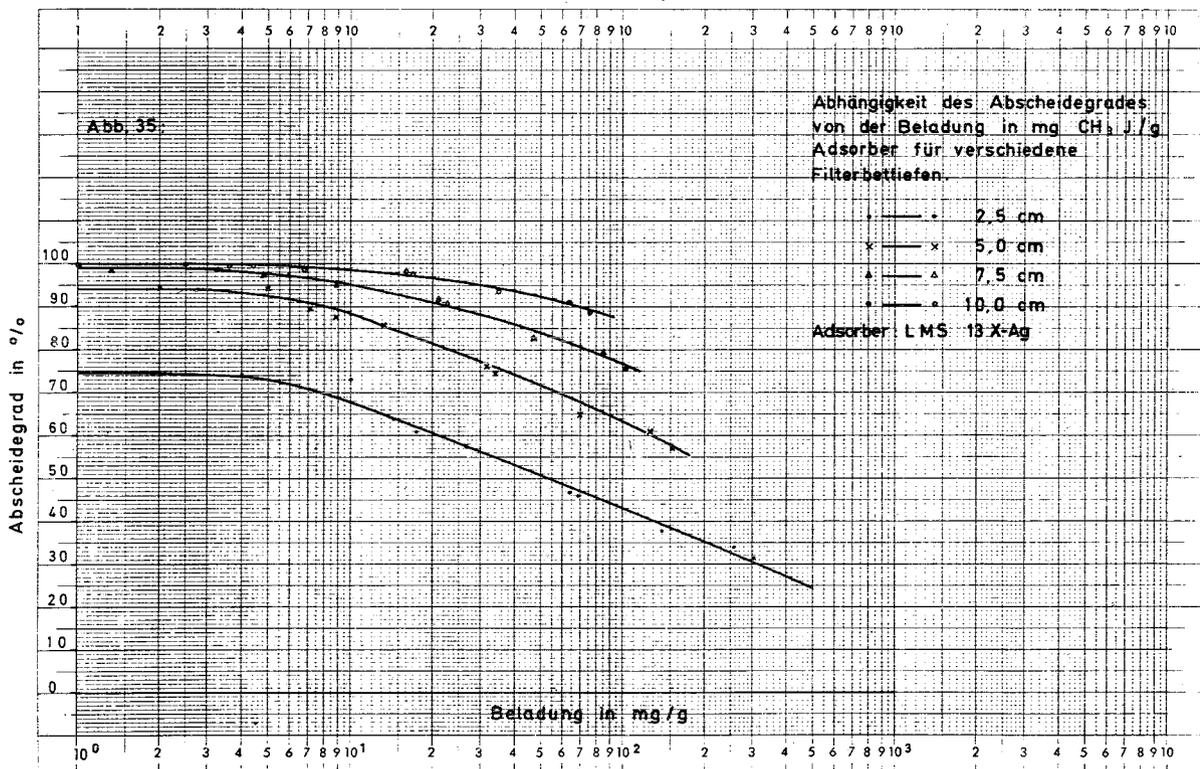
Erste Versuche mit LMS 13 X-Ag zur Klärung der Abscheidewirkung in feuchter Luft wurden bereits beschrieben (14). Im Jahre 1969 wurden diese Arbeiten fortgesetzt. Die Abhängigkeit der Abscheideleistung der Molekularsiebe von der Beladung mit Methyljodid und von der Konzentration dieser Jodverbindung in Luft wurde über einen großen Bereich untersucht, außerdem wurden die Abscheidegrade gemessen, die bei hohen Temperaturen in Luft und Helium erreicht werden.

Zur Bestimmung der Brauchbarkeit von LMS 13 X-Ag zur Reinigung von Dampfkreisläufen wurden Alterungsversuche mit diesem Material in Dampf bei hohem Druck und hoher Temperatur durchgeführt. Anschließend

wurde die Abscheideleistung im Standardtest gemessen. Weiter wurde eine Reihe von Methoden zur Herstellung der Silberform der Linde Molekularsieve Typ 13 X durch Ionenaustausch bei möglichst geringem Einsatz von Silber untersucht und die Abhängigkeit des erreichbaren Abscheidegrades von der eingebrachten Silbermenge bestimmt. Die Ergebnisse der beschriebenen Untersuchungen wurden z. T. veröffentlicht (25), hier werden diese Versuchsergebnisse nur kurz referiert. Die für LMS 13 X-Ag angegebenen Daten gelten für stäbchenförmiges Material, Durchmesser 1,6 mm.

6.1.1.1 Abhängigkeit des Abscheidegrades von der Beladung und Konzentration

Bei 70 % und 100 % relativer Luftfeuchte (R.F.) wurden Versuchsreihen mit verschiedener Beladung des LMS 13 X-Ag durchgeführt. Bis zu Beladungen von einigen mg $\text{CH}_3\text{J/g}$ Molekularsieve ist bei 70 % R.F. im Rahmen der Versuchsgenauigkeit kein Einfluß der Beladung auf den Abscheidegrad zu erkennen. Bei höheren Beladungen ergibt sich ein exponentieller Abfall des Abscheidegrades mit steigender Beladung, der sich aus der verringerten Anzahl der zur Reaktion zur Verfügung stehenden Ag-Ionen erklären läßt (Abb. 35).



Jedoch ist der Einfluß im Bereich der Beladungen, die sich bei Anwendung für GAU-Umluftfilter ergeben würden, gering. Es können wesentlich höhere Beladungen erreicht werden als bei Verwendung von Aktivkohle. Bei einer Beladung von 76 mg CH₃J pro g Molekularsieb wird z. B. bei 70 % R.F. und einer Verweilzeit von 0,4 sec (10 cm Bett-Tiefe) noch ein Abscheidegrad von $\eta = 88,4 \%$ erreicht.

Tab. 24: Abscheidung von ¹³¹J (in Form von CH₃¹³¹J im Trägergas) durch LMS 13 X-Ag bei verschiedener Beladung und Konzentration.

Feuchtluft von 70 % R.F., 30° C und Atmosphärendruck.
 Vorbefeuchtung (nur Trägergas) ≥ 20 h.
 Beaufschlagung (Prüfmedium + Trägergas): 0,5 - 4,25 h.
 Nachströmzeit (nur Trägergas): ≥ 20 h.

Versuchsbedingungen		Abscheidegrade η in %				
CH ₃ J-Beladung mg/g ⁺⁾	CH ₃ J-Konzentration in der Zuluft g/m ³	Bett-Tiefe (cm)	2,5	5,0	7,5	10,0
		Verweilzeit (sec)	0,1	0,2	0,3	0,4
0,01(± 20%)	0,001(± 20%)		73,5	94,7	98,9	99,8
1,0 "	0,05 "		74,6	94,2	98,5	99,5
2,5 "	0,25 "		73,1	94,2	98,6	99,7
3,6 "	0,36 "		63,4	89,6	97,4	99,4
4,4 "	0,44 "		60,9	87,7	96,8	99,4
6,7 "	0,33 "		57,5	85,7	95,2	98,5
16 "	1,1 "		46,7	76,1	91,8	98,0
17 "	2,7 "		46,1	74,7	91,2	97,5
35 "	3,5 "		37,8	64,6	83,0	93,4
64 "	2,1 "		34,2	61,1	79,6	91,0
76 "	2,3 "		31,7	57,1	75,8	88,4
Nachfolgende Bedingungen wie oben, jedoch Feuchtluft von 100 % R.F.						
0,003"	0,0003"		42,2	71,0	87,2	93,9
0,08 "	0,008 "		20,2	41,8	60,5	74,2
0,1 "	0,005 "		12,5	31,8	47,7	63,7
0,2 "	0,01 "		23,4	42,5	57,2	68,4
1,1 "	0,06 "		17,8	34,4	48,8	62,1
60-130"	1,4-3,1"		$\leq 3,3$	$\leq 8,4$	$\leq 14,4$	$\leq 21,2$

⁺⁾ mg CH₃¹³¹J pro g Molekularsieb, berechnet für 10 cm Bett-Tiefe.

Der Einfluß der Konzentration auf den Abscheidegrad wurde nicht systematisch untersucht. Aus den vorliegenden Versuchsdaten ergibt sich im untersuchten Bereich keine deutliche Beeinflussung des Abscheidegrades durch die Konzentration des CH_3J in der Trägerluft. Die Versuche bei 70 % R.F. lagen im Konzentrationsbereich zwischen 0,001 und 2,3 g CH_3J pro m^3 Trägerluft.

Messungen, die bei 100 % R.F. durchgeführt wurden, zeigten relativ starkschwankende Ergebnisse; bei sehr hohen Beladungen trat ein starker Abfall der Abscheidegrade auf. Außerdem zeigte die Aktivitätsverteilung über die Bett-Tiefe Schwankungen, die bisher nicht eindeutig geklärt werden konnten und bei Versuchen mit imprägnierten Aktivkohlen nicht beobachtet wurden.

6.1.1.2 Abscheidung von Methyljodid durch LMS 13 X-Ag bei hohen Drücken und Temperaturen

Experimente mit trockener Luft und trockenem Helium als Trägergas bei Temperaturen von 200, 300 und 650 °C (Luft) und 200 und 300 °C (Helium) ergaben außerordentlich hohe Abscheidegrade von $\eta \geq 99,998$ % bei Verweilzeiten zwischen 0,12 und 0,2 sec und einer Bett-Tiefe des LMS 13 X-Ag von 5 cm (25). Aus der Verteilung der ^{131}J -Aktivität auf Strukturmaterialien und Adsorber kann auf die Umwandlung eines Teiles des als Methyljodid beaufschlagten Jods in reaktionsfähigere Formen geschlossen werden, z. B. durch Oxydation zum elementaren Jod.

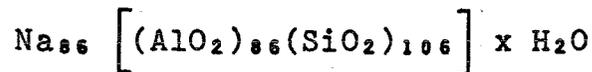
6.1.1.3 Beständigkeit von LMS 13 X-Ag in Heißdampf bei hoher Temperatur und hohem Druck

Alterungsversuche wurden in Dampf von 510° C bei einem Druck von 140 ata durchgeführt. Die Struktur des Molekularsiebes wurde so schnell zerstört, daß seine Verwendung als Filtermaterial in Dampfkreisläufen unter diesen Bedingungen nicht in Frage kommt. Die Alterung bei 235° C und 30 ata verlief jedoch bedeutend langsamer als unter den oben angegebenen Werten (25). Die Experimente werden bei

Temperaturen von 150 bis 300 °C und Drücken von 1 bis 5 ata fortgesetzt. Dieser Bereich ist für eine Verwendung von LMS 13 X-Ag als Adsorbiermaterial in Sicherheitsbehälter-Umluftfiltern unter GAU-Bedingungen besonders interessant.

6.1.1.4 Variation des Silberanteiles im Linde Molekularsieb 13 X

Das LMS 13 X ist ein synthetisch hergestelltes kristallines Metall-Alumo-Silikat und liegt im Anlieferungszustand in der Natrium-Form vor:



Durch Umsetzung mit Silbernitratlösung wird über einen Ionenaustausch die Na-Form des Molekularsiebes in die Ag-Form umgewandelt. Die vorstehend angegebenen Versuche wurden ausschließlich mit Molekularsieben durchgeführt, bei denen mindestens 90 % des Na^+ gegen Ag^+ ausgetauscht waren. Die Kristalle des LMS 13 X werden bei der Verarbeitung zu stäbchenförmigem Adsorbiermaterial mit 20 Gewichtsprozent Leimbinder vermischt, dieser kann ebenfalls Silber aufnehmen.

Zur Feststellung der Abhängigkeit des Abscheidegrades von dem Anteil an Silber wurden Versuche mit LMS 13 X verschiedenen Silbergehaltes bei 70 und 100 % R.F. und 30° C der als Trägergas benutzten Feuchtluft durchgeführt. Die Versuchsdaten zeigen eine starke Abnahme des Abscheidegrades bei sinkendem Silbergehalt. Ein möglichst hoher Silberanteil (entsprechend einer Aufnahme von 0,54 - 0,58 g Ag/g Molekularsieb im Anlieferungszustand) führt zu optimalen Abscheidegraden in bezug auf die eingesetzte Menge Silber (25).

6.1.2 Abscheidung von ^{131}J (in Form von $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ im Trägergas) an Molekularsieben (Zeolithen) verschiedenen Typs

Außer den vorstehend und an anderer Stelle beschriebenen Untersuchungen wurden weitere Molekularsiebtypen und Präparationen auf ihren Abscheidegrad gegenüber $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ geprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 25 wiedergegeben.

Tab. 25: Abscheidung von ^{131}J (in Form von $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ in Feuchtluft als Trägergas) an verschiedenen Molekularsiebtypen.

Versuchsbedingungen: Feuchtluft von 70 % R.F., 30° C und Atmosphärendruck.

Prüfmedium: 1 - 2,5 mg $\text{CH}_3^{127}\text{J}$ pro g Molekularsieb (Zeolith), vermischt mit $\leq 20 \mu\text{Ci}$ $\text{CH}_3^{131}\text{J}$.
(Beladung berechnet auf 10 cm Bett-Tiefe)

Versuchsdauer: Vorbefeuchtung (nur Trägergas) ≥ 20 h.

Beaufschlagung (Prüfmedium + Trägergas): 1 h.

Nachströmzeit (nur Trägergas): \geq ca. 20 h.

Molekularsieb- bzw. Zeolith-Typ und Präparation	Korngröße oder Fraktion	Abscheidegrad n in %				
		Bett-Tiefe (cm)	2,5	5,0	7,5	10,0
		Verweilzeit (sec)	0,1	0,2	0,3	0,4
84 % Zeolith A (Silberform) + 16 % SiO_2 Bindemittel	Granulat, 1,6-3,15 mm		6,7	12,7	18,8	24,0
84 % Zeolith Y (Silberform) + 16 % SiO_2 Bindemittel	Granulat, 1,0-2,0 mm		74,8	94,3	98,7	99,7
70 % Zeolith Y (Silberform) + 30 % Zeolith A Bindemittel	Kugeln, 2,0-2,5 mm \varnothing		41,1	66,0	80,7	88,8
70 % Zeolith Y (Silberform) + 30 % Zeolith A Bindemittel	Kugeln, 2,0-3,2 mm \varnothing		31,8	54,1	69,1	80,3
LMS 5 A-Ag	Stäbchen 1,6 mm \varnothing		2,9	5,5	7,8	10,2
LMS 13 X-Ag	Stäbchen 1,6 mm \varnothing		73,1	94,2	98,6	99,7
LMS 13 X, AgCl-impregniert +)	Stäbchen 1,6 mm \varnothing		1,0	1,9	2,9	3,9
Linde 13 X, AgOH-impregniert ++)	Stäbchen 1,6 mm \varnothing		2,0	3,9	5,8	7,5

+) 81,5 % des Silbers der ursprünglichen Silberform wurde durch Reaktion mit NaCl-Lösung zu AgCl umgesetzt.

++) 63,5 % des Silbers der ursprünglichen Silberform wurden durch Reaktion mit NaOH in AgOH umgesetzt.

Aus den Daten ergibt sich, daß nur der X- und Y-Typ der Molekularsiebe (Zeolithe) für die Abscheidung von Methyljodid in Frage kommt, dies ist auf den ausreichenden Porendurchmesser, der beim X- und Y-Typ $\approx 10 \text{ \AA}$ beträgt, zurückzuführen. Die geringen Porendurchmesser der A-Typen ($\leq 5 \text{ \AA}$) schließen die Umsetzung des in Form von Methyljodid beaufschlagten Jodes mit dem im Gitter gebundenen Silber weitgehend aus. Wird das Silber in den Molekularsieben durch Reaktion mit Cl^- oder OH^- vor der Beaufschlagung mit Methyljodid umgesetzt, ist praktisch keine Abscheidewirkung mehr vorhanden.

6.1.3 Abscheidung von ^{131}J (in Form von $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ im Trägergas) an imprägnierten Katalysatorträgern

Wegen der mangelnden Säurebeständigkeit von Molekularsieben, die dadurch für bestimmte Anwendungsgebiete nicht in Frage kommen, wurden zusätzlich Katalysatorträger verschiedener Zusammensetzung und Imprägnierung auf ihre Abscheidewirkung untersucht. Tränkung mit AgNO_3 -Lösung führte in einigen Fällen zu Ergebnissen, die weitere Untersuchungen sinnvoll erscheinen lassen. K^{127}J als Imprägnationsmittel zeigte auf den Katalysatorträgern keine Abscheidewirkung, während auf Aktivkohle z. T. eine sehr gute Abscheidung über einen Isotopenaustausch erreicht wird.

In Tabelle 26 sind die Ergebnisse einiger Versuche aufgeführt. Die Arbeiten werden mit den Katalysatorträgern B und C und Silberimprägnierung fortgesetzt.

Tab. 26: Abscheidung von ^{131}J (in Form von $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ im Trägergas) an Katalysatorträgern verschiedener Präparation.

Versuchsbedingungen: Feuchtluft von 70 % R.F., 30°C und Atmosphärendruck.

Prüfmedium ca. $120\ \mu\text{g CH}_3^{127}\text{J}$ pro g Katalysatorträger, vermischt mit $\leq 15\ \mu\text{Ci CH}_3^{131}\text{J}$ (Beladung berechnet auf maximale Bett-Tiefe der Einzelversuche, d. h. 5 bzw. 10 cm).

Versuchsdauer: Vorbefeuchtung (nur Trägergas): 22 - 24 h.

Beaufschlagung (Prüfmedium + Trägergas): 1 h.

Nachströmzeit (nur Trägergas): ca. 20 h.

Katalysatorträger	Siebgrenzen (mm)	Imprägnierung		Abscheidegrade η in %				
		Art	Menge (g/100 g Träger)	Bett-Tiefe (cm)	2,5	5,0	7,5	10,0
				Verweilzeit (sec)	0,1	0,2	0,3	0,4
A	0,4-2	AgNO_3	6,9		2,7	5,5	-	-
A +)	"	KJ	3,2		0,02	0,04	0,05	0,07
B	"	AgNO_3	4,0		57,4	81,9	-	-
B ++)	"	KJ	3,0		0,03	0,05	-	-
C +++)	3-6	AgNO_3	3,0		18,7	33,5	44,5	54,5
C	"	KJ	3,5		0,01	0,02	-	-

+) Beladung: $1,8\ \text{mg CH}_3^{127}\text{J/g}$ Katalysatorträger.

++) Versuch nach 2 h Nachströmzeit abgebrochen.

+++) Beladung: $60\ \mu\text{g CH}_3^{127}\text{J/g}$ Katalysatorträger.

6.1.4 Jodimprägnierte Aktivkohlen

6.1.4.1 Versuche unter Standardbedingungen

Verschiedene imprägnierte Aktivkohlen, die von der Industrie angeboten und für den Einsatz in Jodfilteranlagen in Frage kommen, wurden unter Standardbedingungen auf ihren Abscheidegrad gegenüber Methyljodid untersucht (Tab. 27).

Tab. 27: Abscheidegrade von imprägnierten Aktivkohlen für ^{131}J (in Form von $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ in Feuchtluft als Trägergas) unter Standardbedingungen.

Trägergas: Feuchtluft von 100 % R.F., 30° C, Atmosphärendruck, vorgefiltert durch Schwebstoff-Filter der Sonderklasse S.

Prüfmedium: $\leq 100 \mu\text{g CH}_3^{127}\text{J}$ pro g Aktivkohle vermischt mit $\leq 20 \mu\text{Ci CH}_3^{131}\text{J}$ pro g Aktivkohle (Beladung berechnet auf 10 cm Bett-Tiefe).

Versuchsdauer: Vorströmzeit (nur Trägergas) ≥ 20 h;

Beaufschlagung (Trägergas + Prüfmedium): 1 h

Nachströmzeit (nur Trägergas) ≥ 20 h.

Aktivkohle	Stäbchendurchmesser bzw. Siebfraktion	Abscheidegrade n in %				
		Bett-Tiefe (cm)	2,5	5,0	7,5	10,0
		Verweilzeit (sec)	0,1	0,2	0,3	0,4
HK 382/I	\emptyset 1,8-2 mm		36,5	65,0	81,3	90,0
HK 382/I (wdh.)	"		39,4	67,2	82,9	90,9
HSA 1565	8 - 14 mesh (Tyler) Granulat		51,2	75,7	89,2	95,0
HSA 1565 (wdh.)	"		47,5	72,4	86,7	93,4
Wi CH 42	"		57,5	85,1	96,7	99,1
NACA 617 +)	"		28,4	48,1	66,6	79,5
NACA 619 +)	12 - 20 mesh (Tyler) Granulat		47,0	76,3	91,4	96,9

+) Beladung 150 μg (± 20 %) $\text{CH}_3^{127}\text{J}$ pro g Aktivkohle.

6.1.4.2 Variationen der Jodmenge zur Imprägnation

Die bisher durchgeführten Arbeiten zeigten, daß die Wahl einer Grundkohle mit relativ niedrigem Wasserdampf-Adsorptionsgleichgewicht für eine gute Leistungsfähigkeit der imprägnierten Kohle entscheidend sein kann. Die folgenden Versuche wurden mit einer Fichtenholzkohle durchgeführt, die unter Standardbedingungen nur ca. 30 % Wasser (bezogen auf das Trockengewicht der Kohle) aufnahm. Trotz der relativ geringen inneren Oberfläche von 700 m²/g nach BET ergaben sich verhältnismäßig gute Abscheidegrade. Der Einfluß von Variationen in der Imprägnierung war im untersuchten Beladungsbereich gering, die Abweichungen in den gemessenen Abscheidegraden lagen praktisch in den Fehlergrenzen des Prüfverfahrens (Tab. 28). Die Versuche werden mit höheren Methyljodid-Beladungen fortgesetzt werden.

Tab. 28: Abscheidegrade von Aktivkohle für ¹³¹J (in Form von CH₃¹³¹J in Feuchtluft als Trägergas) bei verschiedener Imprägnierung.

Versuchsbedingungen wie in Tab. 27 angegeben.

Aktivkohle (Stäbchendurchmesser vorwiegend 1,8 bis 2 mm bei allen Chargen)	Imprägnierung	Abscheidegrade n in %				
		Bett-Tiefe (cm)	2,5	5,0	7,5	10,0
		Verweilzeit (sec)	0,1	0,2	0,3	0,4
HK 382	0,5%KJ + 0,1%J ₂		57,5	85,2	94,5	98,2
HK 386	1 %KJ + 0,2%J ₂		50,7	77,4	90,7	96,5
HK 386 (wdh.)	" "		47,2	78,0	91,7	96,9
HK 387	2 %KJ + 0,4%J ₂		54,5	81,8	93,3	97,7
HK 387 (wdh.)	" "		50,8	81,0	93,0	97,5
HK 388	5 %KJ + 1 %J ₂		48,7	78,0	91,1	96,4

6.1.5 Alterung von Adsorbermaterialien

Untersuchungen an Jodfilteranlagen ergaben, daß die Abscheidegrade, die mit den frisch eingesetzten Adsorbermaterialien erreicht wurden, durch längere Betriebszeiten stark reduziert werden können. In Tab. 29 werden die Ergebnisse einiger Alterungsversuche angeführt. Die Materialproben wurden mit normaler Raumluft, gefiltert durch ein Schwebstoff-Filter der Sonderklasse S, beaufschlagt und anschließend dem üblichen Standard-Prüfverfahren (bei 30° C und 100 bzw. 70 % R.F.) unterworfen.

Tab. 29: Abscheidegrade von Spaltjod-Adsorbermaterialien für ^{131}J (in Form von $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ in Feuchtluft als Trägergas) nach Beaufschlagung mit Raumluft.

Trägergas: Feuchtluft von 100 % R.F., 30° C und Atmosphärendruck.

Vorbefeuchtung (nur Trägergas): 22 - 24 h

Beaufschlagung (Prüfmedium + Trägergas): 1 h

Nachströmzeit (nur Trägergas): 20 - 22 h

Prüfmedium: $\leq 70 \mu\text{g CH}_3^{127}\text{J}$ pro g Adsorbermaterial, vermischt mit $\leq 10 \mu\text{Ci CH}_3^{131}\text{J}$ pro g Adsorbermaterial.

Adsorbermaterial Typ und Stäbchen- durchmesser	Zahl der Luft- wechsel (berechnet auf 10 cm Bett-Tiefe +)	Abscheidegrade n in %				
		Bett-Tiefe (cm)	2,5	5,0	7,5	10,0
		Verweil- zeit (sec)	0,1	0,2	0,3	0,4
Norit RCX, 1 % KJ 1 mm Ø	$1,2 \cdot 10^7$		74,5	87,9	95,6	98,9
"	$1,9 \cdot 10^7$		21,2	47,0	75,6	90,4
Nachfolgende Versuchsbedingungen wie oben, jedoch Feuchtluft von 70 % R.F.						
LMS 13 X-Ag 1,6 mm Ø	kein Luftwech- sel, frisch hergestellt		65,6	92,4	98,3	99,6
"	$7 \cdot 10^6$		53,0	88,1	97,5	99,5

+) Die Anzahl der Luftwechsel während der Standard-Prüfung beträgt ca. $2 \cdot 10^5$ und ist damit klein gegenüber der Luftwechselzahl während der vorhergehenden Alterung.

Die Tabelle 29 zeigt Alterungserscheinungen an beiden Adsorbiermaterialien, die Anzahl der bisher zur Verfügung stehenden Proben ist jedoch zu gering, um quantitative Rückschlüsse ziehen zu können. Es wurden sechs bewegliche Alterungsstrecken gebaut, die die gleichzeitige Beaufschlagung von jeweils 8 verschiedenen Proben mit Luft erlauben.

Da der Alterungsvorgang (Verwitterung, Vergiftung usw.) des Adsorbiermaterials von den Verunreinigungen der beaufschlagten Luft abhängig ist, werden die Alterungsstrecken an Stellen aufgebaut, an denen sich Jodfilteranlagen befinden oder geplant sind.

6.1.6 Versuche zur Abscheidung von Spaltjod unter GAU-Bedingungen

Zur optimalen Auslegung von GAU-Jodfilteranlagen wurden für verschieden imprägnierte Aktivkohlen die Abscheidegrade gegenüber Methyljodid unter Bedingungen gemessen, die in Hinsicht auf Bett-Tiefe, lineare Luftgeschwindigkeit (bzw. Verweilzeit), Luftfeuchte, Temperatur, Druck und maximale Beladung den Werten entsprechen, die für den GAU erwartet werden. Wegen der sehr speziellen Bedingungen der einzelnen Versuche wird an dieser Stelle auf die Wiedergabe des gesamten Versuchsmaterials verzichtet. Es werden nur solche Ergebnisse angeführt, die für eine größere Anzahl von Filteranlagen von Interesse sind.

Für die imprägnierte Aktivkohle Typ MSA 85851 wird eine Anzahl von Abscheidegraden angegeben, die in Hinsicht auf relative Luftfeuchte usw. unter annähernd gleichen Bedingungen bei Variation der Luftgeschwindigkeit gemessen wurden. Im untersuchten Bereich (Bett-Tiefen und lineare Luftgeschwindigkeiten variiert im Verhältnis 1:3; lineare Luftgeschwindigkeit minimal: 8,3 cm/sec, maximal 25 cm/sec) bestätigt sich im Rahmen der Versuchsgenauigkeit die Regel, daß für gleiche Verweilzeiten, unabhängig von der linearen Luftgeschwindigkeit, gleiche Abscheidegrade gelten.

Tab. 30: Abscheidung von ^{131}J (in Form von $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ in Feuchtluft als Trägergas) unter simulierten GAU-Bedingungen durch imprägnierte Aktivkohle.

Trägergas: Feuchtluft, Atmosphärendruck, vorgefiltert durch Schwebstoff-Filter der Sonderklasse S.

Prüfmedium: $\leq 100 \mu\text{g CH}_3^{127}\text{J}$ pro g Aktivkohle, vermischt mit $\leq 20 \mu\text{Ci CH}_3^{131}\text{J}$ pro g Aktivkohle (Beladung berechnet auf 10 cm Bett-Tiefe).

Versuchsdauer: Vorströmzeit (nur Trägergas) ≥ 20 h.
Beaufschlagung (Trägergas + Prüfmedium): 1 h.
Nachströmzeit (nur Trägergas) ≥ 20 h.

Aktivkohle Typ, Korngröße	R.F. (%)	Abscheidegrade η in %				
		Bett-Tiefe (cm)	2,5	5,0	7,5	10,0
		Verweilzeit (sec)	0,08	0,16	0,25	0,33
HSA 1565 8-14 mesh (Tyler)	71 (± 2 %)	(A)	87,3	98,8	99,84	99,986
" wdh.	71 (± 2 %)		87,5	98,9	99,84	99,983
Bett-Tiefe wie oben, jedoch Verweilzeit (sec) (lineare Luftgeschwindigkeit 25 cm/sec)			0,1	0,2	0,3	0,4
MSA 85851 8-12 mesh (Tyler)	70 (± 2 %)	(B)	71,0	95,1	99,3	99,93
Bett-Tiefe wie oben, jedoch Verweilzeit (sec) (lineare Luftgeschwindigkeit 16,7 cm/sec)			0,15	0,3	0,45	0,6
MSA 85851 +) 8-12 mesh (Tyler)	71 (± 2 %)	(B)	92,4	99,08	99,97	99,997
Norit RCX 1 % KJ Stäbchen 1 mm \emptyset	71 (± 2 %)	(B)	98,9	99,99	99,998	>99,998++)
Bett-Tiefe wie oben, jedoch Verweilzeit (sec) (lineare Luftgeschwindigkeit 8,3 cm/sec)			0,3	0,6	0,9	1,2
MSA 85851 8-12 mesh (Tyler)	75 (± 2 %)	(C)	99,43	99,996	99,9998	>99,9998++)

+) Beladung $225 (\pm 20 \%) \mu\text{g CH}_3^{127}\text{J}$ pro g Aktivkohle.

++) Nachweisgrenze überschritten.

Feuchtluft-Temperatur (A): 43°C , (B): 30°C , (C): 50°C .

6.2 Vor Ort-Prüfungen an Jodfilteranlagen

Verschiedene GAU-Jodfilteranlagen wurden einer vor Ort-Prüfung unterzogen. Das dabei angewandte Verfahren ist bereits an anderer Stelle beschrieben (J.G. Wilhelm "Testing Iodine filters for nuclear installations", IAEA-Proceedings: Treatment of airborne radioactive wastes, S. 403 - 416, Wien 1968). Als Prüfmedium wurde in einigen Fällen ein Gemisch von 5 mg inaktivem elementarem Jod (^{127}J), vermischt mit ca. 100 mCi ^{131}J , eingesetzt. Ein Teil des aufgegebenen Prüfmediums schied sich auf dem Weg von der Probeaufgabestelle bis zu den Roh- und Reinluftprobenahmestellen an den Wandungen der Luftkanäle ab und desorbierte teilweise wieder. Wegen dieser unvermeidlichen Desorptionserscheinungen an Strukturmaterialien und einer eventuell damit verbundenen teilweisen Umwandlung in organische Jodverbindungen ergab sich für die Dauer der Beaufschlagung mit dem Prüfmedium (2 bis 2,5 h) ein etwas besserer Abscheidegrad als über die gesamte Meßzeit (16 bis 20 h). Schwierigkeiten bereitete zusätzlich die Abscheidung von Jod an den Wandungen der Probenahmerohre. Um diese möglichst gering zu halten, wurde als Rohrmaterial Teflon benutzt. Die Rohre wurden nach der Prüfung zerschnitten und die Aktivität mit in die Auswertung einbezogen. Die untere Nachweisgrenze der Prüfmethode lag z. B. bei einem Einsatz von 100 mCi ^{131}J und einer Leistung der Jodfilteranlage von 12 500 m³/h bei einer Durchlässigkeit von 0,01 %. Die vor Ort-Prüfung mit elementarem radioaktivem Jod ermöglicht praktisch nur eine Aussage über die mechanische Leckdichtigkeit des Jodfilters, da eine Veränderung (Alterung) des Adsorbermaterials im besonderen die Abscheideleistung gegenüber organischen Jodverbindungen wie Methyljodid beeinträchtigt und durch die Prüfung mit elementarem Jod nicht erfaßt wird.

Bei weiteren vor Ort-Prüfungen wurde ein Gemisch von $\text{CH}_3^{127}\text{J}$ und $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ als Prüfmedium verwendet. Bei Verwendung dieses Prüfmediums wurde ein Absinken des Abscheidegrades nach einer Betriebszeit von wenigen Monaten in zwei Fällen nachgewiesen. Die Ursache

war durch eingespeichertes Wasser (Taupunktunterschreitung in der Filterzuluft) bzw. durch Vergiftung der Kohle gegeben (wahrscheinlich durch Lösungsmitteldämpfe).

Um derartige Veränderungen ohne großen Aufwand feststellen zu können, wurden für einzelne GAU-Jodfilteranlagen Bypass-Alterungsstrecken konstruiert, die mit der Original-Aktivkohle gefüllt sind und eine zwischenzeitliche Prüfung der Aktivkohle gestatten. Durch die Konstruktion der Bypass-Alterungsstrecken wird gewährleistet, daß die Kohleproben nach dem Auswechseln ohne Lageveränderung der Kohlepartikel in die Laborprüfapparatur eingebracht und unter simulierten GAU-Bedingungen geprüft werden können. Durch die Prüfung der Aktivkohle aus den Alterungsstrecken wird das vor Ort-Prüfprogramm zwischenzeitlich ergänzt. Die vor Ort-Prüfung mit radioaktiv markiertem Methyljodid war in der Durchführung etwas einfacher als bei Verwendung von radioaktiv markiertem elementarem Jod und führte zu genauer reproduzierbaren Ergebnissen. Die Empfindlichkeit des Nachweisverfahrens ist bei beiden Prüfmedien die gleiche. Zusätzlich zu den vor Ort-Prüfungen wurden einige Abscheidungsuntersuchungen an einzelnen Aktivkohlefilterzellen auf einem kleinen Prüfstand durchgeführt.

7. Theoretische Strahlenschutzfragen

7.1 Abschirmberechnungen

H. Elbel

7.1.1 Abschätzung der Abschirmung eines Abfallbehälters

Ein zylindrischer Abfallbehälter, in dem sich etwa ein halbes Jahr alte Spaltprodukte mit einer Gesamtaktivität von rund 1 Ci befinden, soll durch Eisen bzw. Blei so abgeschirmt werden, daß an der Oberfläche der Abschirmung die Dosisleistung einen Wert von 2,5 mrem/h nicht übersteigt.

Der Behälter hat eine Höhe von 87,5 cm und einen Durchmesser von 56,0 cm. Sein Volumen beträgt rund 200 l. Seine Wandung aus Eisen ist 1 mm stark.

Der Inhalt des Behälters besteht entweder aus Bitumen oder aus Zement, jeweils vermischt mit anorganischen Salzen der Spaltprodukte.

Die Rechnung zeigte, daß eine 10 cm starke Abschirmschicht aus Eisen bzw. eine 5 cm starke Abschirmschicht aus Blei die Dosisleistung in der Umgebung des Abfallbehälters auf einen Wert von rund 1 mrem/h vermindert.

7.1.2 Berechnung einer Abschirmung für einen Sammelbehälter, der Abfallfässer einer bestimmten Oberflächendosisleistung enthält

Der zylindrische Sammelbehälter hat einen Durchmesser von 2085 mm. Seine Höhe beträgt 1000 mm. In ihm befinden sich sieben gleichartige zylindrische Abfallfässer mit je 200 l Fassungsvermögen.

Der Durchmesser eines jeden Fasses beträgt 560 mm, die Höhe 940 mm. Der Inhalt besteht aus Bitumen oder Zement. In dem jeweiligen Füllmaterial sind radioaktive Spaltprodukte eingelagert. Die Zusammensetzung fußt auf Annahmen, die sich aus der Abfallaufbereitung herleiten.

Die Aufgabenstellung sah an der Oberfläche eines Fasses eine Dosisleistung von 2, 100, 1000 und 10 000 rem/h vor.

Die Dicke der Abschirmung aus Eisen bzw. Blei für den Sammelbehälter sollte so bemessen werden, daß die Dosisleistung auf 200 mrem/h an der Oberfläche der Abschirmung abgesunken ist.

Die Schichtdicken, die entsprechend der durchgeführten Berechnungen die gestellte Forderung erfüllen, sind in der Tabelle 31 aufgeführt.

\dot{D} in rem/h	Q in $\text{cm}^{-3}\text{s}^{-1}$	s_B in cm	s_E in cm
2	$1,2 \cdot 10^5$	2,8	5,8
10^2	$6,2 \cdot 10^6$	7,2	14,8
10^3	$6,2 \cdot 10^7$	9,8	20,1
10^4	$6,2 \cdot 10^8$	12,4	25,4

Tab. 31: Dicke der Abschirmung des Sammelbehälters in Abhängigkeit von der Oberflächendosisleistung eines Abfallfasses.

(Dosisleistung an der Oberfläche der Abschirmung des Behälters jeweils $\dot{D}_0 = 200 \text{ mrem/h}$)

Es bedeuten:

\dot{D} Oberflächendosisleistung eines Fasses
 Q Gamma-Emissionsdichte
 s_B, s_E Dicke der Blei bzw. Eisenabschirmung

7.2 Aktivitäts- und Dosisberechnungen

7.2.1 Spaltproduktinventar

W. Helm

7.2.1.1 Spezifische Aktivität bei Bestrahlungsende in Abhängigkeit von der Anreicherung

Eine allgemein orientierte Arbeit befaßt sich mit der spezifischen Aktivität A (Ci/kg Brennstoff) einiger bei Bestrahlungsende ($t = 0$) vorhandener Spaltnuklide in Abhängigkeit von der Anreicherung x nach einer Standzeit $\tau = 3a$ mit der Brennstoffzusammensetzung - U_{metall} , UC, UO_2 - und der thermischen Flußdichte Φ_{th} als Parameter.

In der Tabelle 32 sind die spezifischen Aktivitäten der sicherheitstechnisch bedeutsamen Spaltprodukte zusammengestellt. Der Berechnung liegt eine 3 %ige Anreicherung von U_{metall} , UC bzw. UO_2 und eine Flußdichte $\Phi_{\text{th}} = 10^{14} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ zugrunde.

Tab. 32

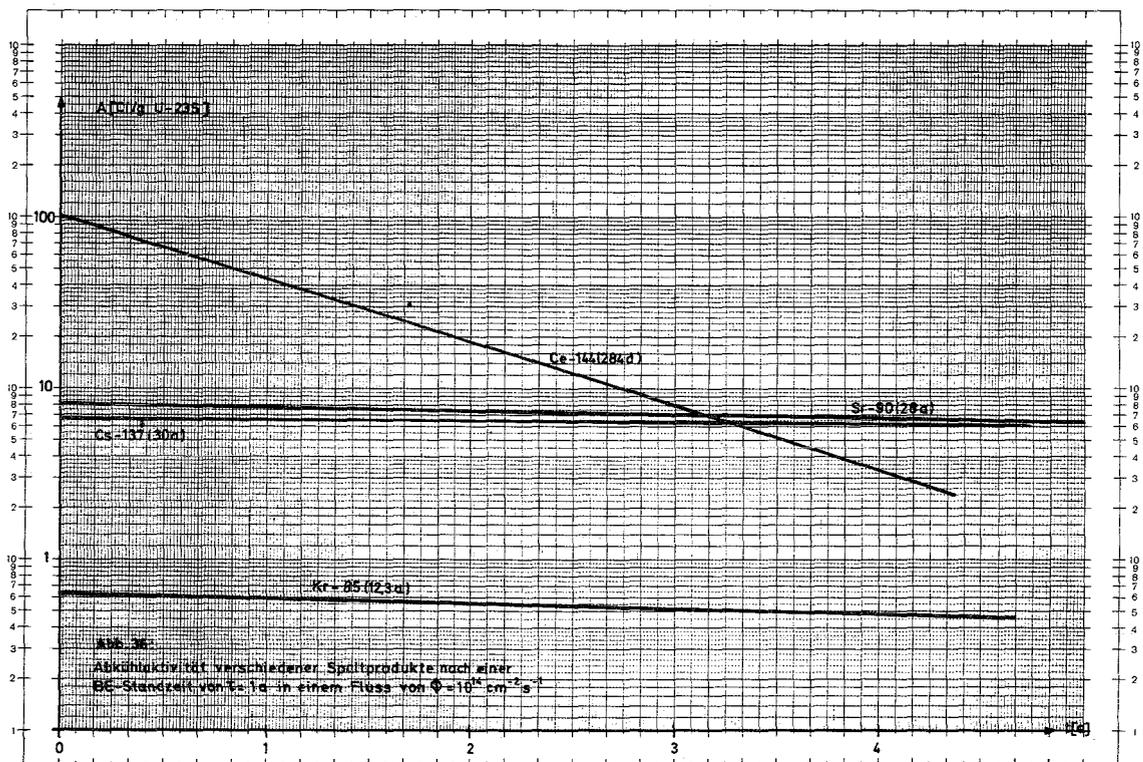
Isotop	Halbwertszeit	Spezifische Aktivität (Ci/kg Brennstoff)		
		U_{metall}	UC	UO_2
Kr-83m	114 m	$4,10 \cdot 10^2$	$1,96 \cdot 10^2$	$1,23 \cdot 10^2$
Kr-85m	4,36 h	$1,75 \cdot 10^3$	$8,20 \cdot 10^2$	$5,10 \cdot 10^2$
Kr-85	10,27 a	$6,20 \cdot 10^1$	$2,90 \cdot 10^1$	$1,79 \cdot 10^1$
Kr-87	78 m	$3,0 \cdot 10^3$	$1,45 \cdot 10^3$	$8,92 \cdot 10^2$
Kr-88	2,77 h	$4,40 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^3$	$1,26 \cdot 10^3$
Xe-131m	12 d	$3,45 \cdot 10^1$	$1,65 \cdot 10^1$	$1,01 \cdot 10^1$
Xe-133m	2,3 d	$1,80 \cdot 10^1$	8,50	5,30
Xe-133	5,27 d	$7,70 \cdot 10^2$	$3,70 \cdot 10^1$	$2,29 \cdot 10^3$
Xe-135m	15,6 m	$2,10 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$6,30 \cdot 10^2$
Xe-135	9,2 h	$6,0 \cdot 10^2$	$2,80 \cdot 10^2$	$1,76 \cdot 10^2$
Xe-138	17 m	$6,50 \cdot 10^3$	$2,10 \cdot 10^3$	$1,94 \cdot 10^3$
J-131	8,05 d	$3,40 \cdot 10^3$	$1,60 \cdot 10^3$	$9,93 \cdot 10^3$
J-132	2,4 h	$5,40 \cdot 10^3$	$2,60 \cdot 10^3$	$1,60 \cdot 10^3$
J-133	20,8 h	$7,80 \cdot 10^3$	$3,70 \cdot 10^3$	$2,30 \cdot 10^3$
J-134	52,5 m	$9,40 \cdot 10^3$	$4,40 \cdot 10^3$	$2,74 \cdot 10^3$
J-135	6,68 h	$9,0 \cdot 10^3$	$3,55 \cdot 10^3$	$2,20 \cdot 10^3$
Rb-88	17,8 m	$5,0 \cdot 10^3$	$2,40 \cdot 10^3$	$1,50 \cdot 10^3$
Rb-89	15,4 m	$5,70 \cdot 10^3$	$2,70 \cdot 10^3$	$1,68 \cdot 10^3$
Cs-137	30 a	$5,0 \cdot 10^2$	$2,35 \cdot 10^2$	$1,46 \cdot 10^2$
Cs-138	32,3 m	$7,30 \cdot 10^3$	$3,50 \cdot 10^3$	$2,14 \cdot 10^3$
Cs-139	9,5 m	$7,20 \cdot 10^3$	$3,50 \cdot 10^3$	$2,05 \cdot 10^3$
Ba-139	83 m	$7,40 \cdot 10^3$	$3,55 \cdot 10^3$	$2,17 \cdot 10^3$
Ba-140	12,8 d	$7,50 \cdot 10^3$	$3,60 \cdot 10^3$	$2,23 \cdot 10^3$

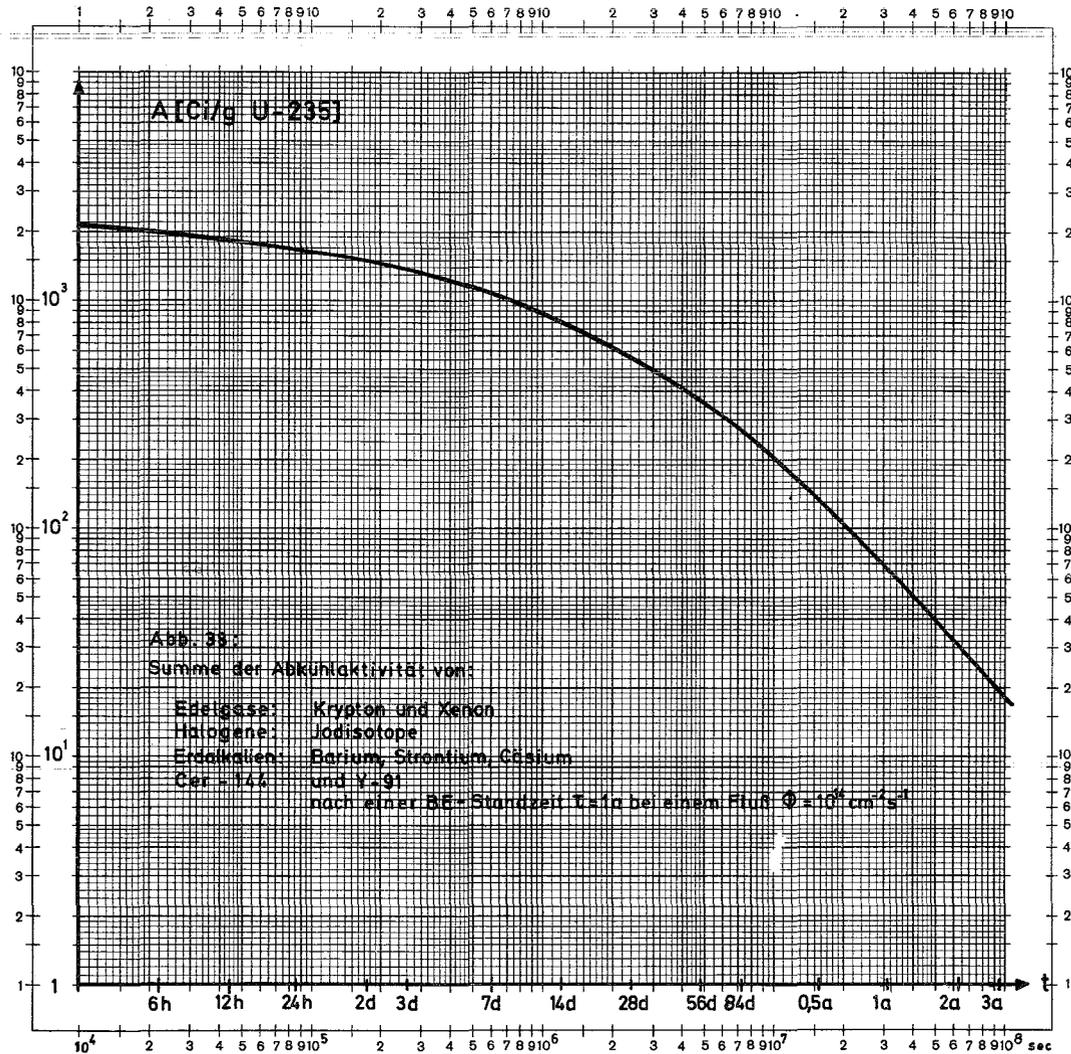
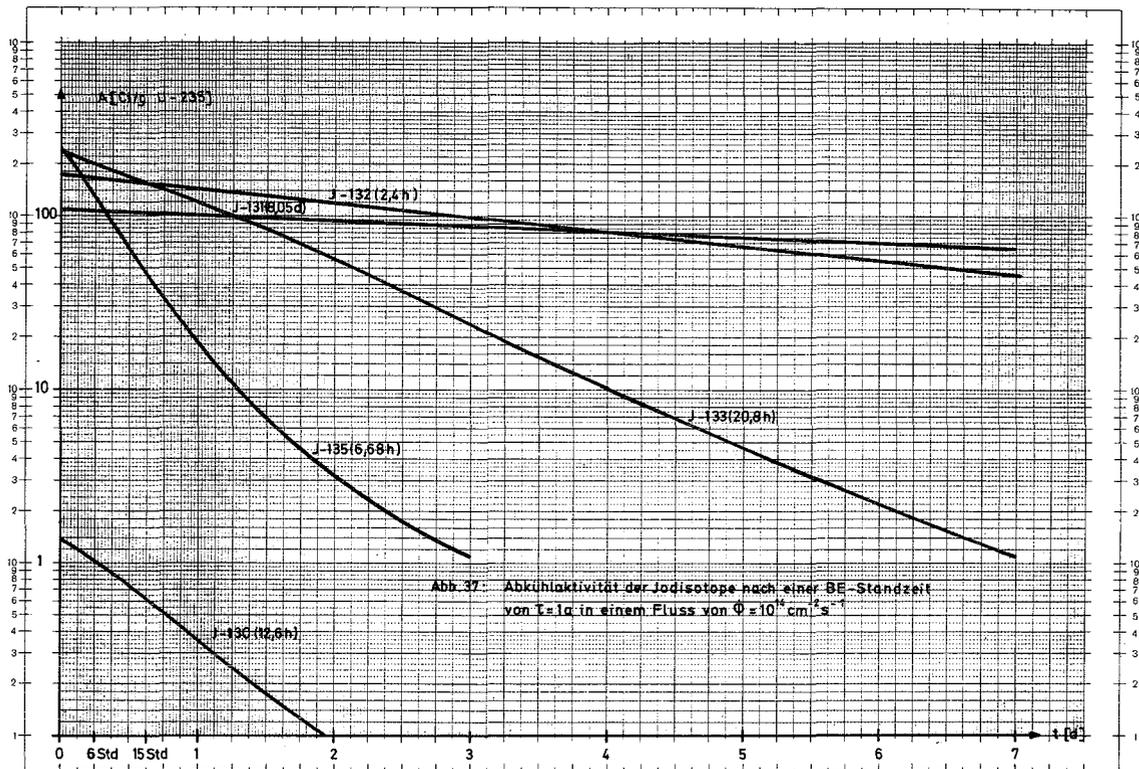
7.2.1.2 Spaltproduktaktivität als Funktion der Abklingzeit

Da die Kenntnis des Spaltstoffinventars eine Voraussetzung ist für die Beurteilung der Sicherheitsaspekte nach einem Reaktorunfall, wurde in einer Arbeit das Aktivitätsinventar einiger Spaltprodukte zusammengestellt. Ihre engere Auswahl stützte sich auf den Sicherheitsbericht für den FR 2.

Ihre Aktivität A (Ci/g ^{235}U) in Abhängigkeit von der Abkühlzeit t wurde berechnet, wobei eine mittlere thermische Flußdichte von $\phi = 10^{14} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ und eine Standzeit von $\tau = 1\text{a}$ zugrundegelegt wurden. Während dieser Standzeit erreichen alle betrachteten Nuklide den Sättigungszustand mit Ausnahme der in Abb. 36 dargestellten langlebigen Spaltprodukte und des ^{130}J , welches über die Einfangreaktion des langlebigen ^{129}J fortlaufend aufgebaut wird.

Die Abb. 37 zeigt den Verlauf der Aktivitäten der Jod-Isotope und Abb. 38 den der Gesamtaktivität der ausgewählten Spaltprodukte. Es ist zu beachten, daß die Aktivität auf 1 g ^{235}U im Ausgangsmaterial bezogen wird.





7.2.1.3 Theoretisches γ -Spektrum eines unverfälschten Spaltjodgemisches

Ein meßtechnisches Programm zum Nachweis von Spaltjod, insbesondere ^{131}J , machte es notwendig, die spektrale γ -Aktivität A_γ (Ci/g ^{235}U) der Spaltjodisotope zu untersuchen. Die Ergebnisse sollen eine Beurteilung der ^{131}J -Beteiligung an einem unverfälschten Spaltjodgemisch ermöglichen, da eine direkte Messung wegen des Compton-Untergrundes unmittelbar nach Freigabe aus dem Core auf erhebliche meßtechnische Schwierigkeiten stößt. Dazu interessieren zwei Beziehungen der spezifischen Aktivität. Einmal ihr spektraler Verlauf mit der Abkühlzeit t als Parameter; zweitens das Verhältnis der γ -Aktivitäten aller beteiligten Jodisotope untereinander in Abhängigkeit von der Abkühlzeit t , insbesondere aber das Verhältnis der γ -Aktivität von ^{131}J zu den "Linien" der übrigen Jodisotope.

Die Grundlage aller obigen Darstellungen bildete die Formel

$$A(t) = \left[\frac{N_s}{N_{25}^0} \cdot \frac{N_\tau}{N_s} \cdot \frac{N_t}{N_\tau} \right] \cdot \frac{N_5}{3,7 \cdot 10^{10}} \text{ (Ci/g } ^{235}\text{U)},$$

wobei die in der geschweiften Klammer enthaltenen Atomzahl-Verhältnisse aus den Diagrammen von TID 4500 Teil I/ Bd. 1 von Blomeke und Todd entnommen worden sind.

Es bedeuten darin:

N_s = Anzahl der Spaltisotop-Atome zum Sättigungszeitpunkt τ_s ;

N_{25}^0 = Anzahl der ^{235}U -Atome bei Beginn der Bestrahlung
 $\tau = 0$;

N_τ = Anzahl der Spaltisotop-Atome zum Bestrahlungszeitpunkt τ ;

N_t = Anzahl der Spaltisotop-Atome nach der Zerfallszeit t

N_5 ist die Anzahl ^{235}U -Ausgangskerne pro Gramm Uran und muß für jede Brennstoffzusammensetzung gesondert bestimmt werden.

In allen Fällen wurde eine Betriebsflußdichte $\phi_{th} = 10^{14} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ und eine Standzeit $\tau = 90 \text{ d}$ zugrundegelegt.

Zur Zeit werden Versuche vorbereitet, die theoretisch gewonnenen Ergebnisse zu prüfen.

7.2.2 Festlegung der Warnschwellen für die im Kernforschungszentrum vorhandenen Abluftüberwachungsanlagen

H. Elbel

Die Warnschwellen der im Kernforschungszentrum vorhandenen Abluftüberwachungsanlagen wurden aufgrund von Neuberechnungen der Empfindlichkeiten der einzelnen Anlagen überprüft und gegebenenfalls geändert. Soweit möglich, wurden Angaben über neu hinzugekommene Anlagen nachgetragen.

7.2.3 Berechnung der Isoplethen für Stabilitätskategorien A bis F

W. Comper

~~Für den Fall von plötzlichen größeren Aktivitätsfreisetzungen muß bei bekannter Windrichtung und Windgeschwindigkeit schnell eine Aussage über die mögliche Kontamination der Umgebung gemacht werden können. Für diesen Zweck wurden die Linien gleicher Konzentrationen berechnet, die, auf Folien gezeichnet, als Schablonen verwendet werden können.~~

Zur Berechnung der Bodenkonzentration wurde die Gauß'sche Interpolationsformel mit den Pasquill-Gifford'schen Parametern benutzt.

Es wurden für eine kontinuierliche Quelle in einer Höhe von 100 m bei einer Emission von 1 Ci/s und einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s die Isoplethen der Bodenkonzentration für die Pasquill'schen Kategorien A bis F berechnet und graphisch dargestellt. Bei der Berechnung wurde vorausgesetzt, daß die Verdünnung der Aktivität in erster Linie durch die kleinen Turbulenzen innerhalb des Volumens der Abgaswolke erfolgt und weniger durch die zerstreue Wirkung der großen Turbulenzelemente. Die gerechneten Konzentrationen sind Abschätzungen für Abgabezeiten bis zu etwa 20 Minuten. Für längere Abgabezeiten liefern die Rechnungen zu hohe Konzentrationen.

7.3 Kreislaufberechnungen

7.3.1 Sicherheitsbetrachtung zum Projekt FR 2/58

W. Comper

Das Bestrahlungsprojekt FR 2/58 dient der Erprobung von Versuchsbrennstoffplatten mit Brennstoff aus UAl_3 -Al-Cermet und Umhüllung aus korrosions- und wärmebeständigen Al-Legierungen. Da die gegebenen Kühlmöglichkeiten der Platten nicht ausreichen, muß eine Kühlung mit Wasser unter höherem Druck erfolgen. Der dazu notwendige Druckwasserkreislauf arbeitet im normalen Betriebszustand mit 45 bis 50 atm. Bei Störfällen können durch Leckagen flüchtige Spaltprodukte in die Bedienungsräume, die Reaktorhalle und an die Außenluft abgegeben werden. Die Auswirkungen dieser Vorgänge, die mit hohen Aktivitätsfreisetzungen verbunden sein können, wurden untersucht.

Für den Kühlkreislauf wurden im Raum R 111 Rohrleitungen verlegt, in denen D_2O zum Reaktoreinsatz hin und zurück fließt. Die Strahlenbelastung im Raum R 111 ist durch die Aktivität im D_2O des Kühlmittelkreislaufes bestimmt. Die zu erwartende Dosisleistung wurde für mehrere Punkte bestimmt.

Die Aktivitätsfreisetzung und Strahlenbelastung wurde für verschiedene Unfallannahmen ermittelt.

Modell 1: Dichter Kreislauf, Niederschmelzen der Platten

Voraussetzung:

- Projekt- und Reaktorkreislauf bleiben dicht und die Brennstoffplatten schmelzen zum Zeitpunkt $t = 0$.
- 50 % der Halogene und 100 % der Edelgase werden in den Kreislauf freigesetzt und gleichmäßig in der gesamten D_2O -Menge verteilt.

Berechnet wurde die Aktivität im Kreislauf zu den Zeitpunkten $t = 0$, $t = 2,4$ h und $t = 24$ h. Die Strahlenbelastung im Raum R 111 wurde für diese Zeitpunkte berechnet.

Modell 2: Kleines Leck im Kreislauf, Platten schmelzen nach
2,4 h

Voraussetzung:

- Zum Zeitpunkt $t = 0$ tritt ein Leck im Projektkreislauf von der Größe $1 \text{ m}^3/\text{h}$ auf. Der Reaktor wird abgeschaltet. Die Platten bleiben bis zu $t = 2,4 \text{ h}$ intakt, ebenso die Reaktorbelüftung.
- Zum Zeitpunkt $t = 2,4 \text{ h}$ schmelzen die Brennstoffplatten; die Reaktorbelüftung wird auf Umluft geschaltet und die Aktivabgasanlage eingeschaltet. Innerhalb von 10 s wird die Aktivität des Kreislaufs im Raum R 111 frei.

Berechnet wurde für den Zeitraum $t = 0$ bis $t = 2,4 \text{ h}$ die Konzentration von ^3H (Tritium) sowie die Belastung von Personen durch ^3H im Raum R 111, der Reaktorhalle und der Umgebung des FR 2.

Für die Zeit $t \geq 2,4 \text{ h}$ wurde die Belastung von Personen für verschiedene Aufenthaltszeiten im Raum R 111, in der Reaktorhalle, der Schaltwarte und der Umgebung berechnet.

Modell 3: Großes Leck, Platten schmelzen sofort

Voraussetzung:

Zum Zeitpunkt $t = 0$ schmelzen die Brennstoffplatten; die Reaktorbelüftung wird auf Umluft geschaltet und die Aktivabgasanlage eingeschaltet. Innerhalb von 10 s wird die Aktivität des Kreislaufs im Raum R 111 frei.

Berechnet wurde die Belastung von Personen im Raum R 111, in der Reaktorhalle, der Schaltwarte und der Umgebung bei ungünstigen Wetterbedingungen.

In einer Nachbetrachtung wurde die Strahlenbelastung in der Reaktorhalle und der Umgebung bei verschiedenen Reaktorbelüftungen gegenübergestellt. Es zeigte sich, daß es sinnvoll ist, bei einem Unfall kurzfristig Aktivität in die Umgebung abzuführen, um das Betriebspersonal vor schweren Schäden zu bewahren. Die Belastung der Umgebung ist selbst bei ungünstigen Wetterbedingungen minimal.

7.3.2 Sicherheitsbetrachtung zum Projekt FR 2/55

W. Comper

Am Projekt FR 2/55 soll im Rahmen des Hüllschaden-Dampfkreislauf-Programms (HSD-Loop) mit beabsichtigten Hüllrohrschäden ein umfangreiches Versuchsprogramm durchgeführt werden. Ziel der durchgeführten Sicherheitsrechnungen ist es, die maximalen radiologischen Folgen des Versuchskreislaufes im Normalbetrieb und nach einem GAU aufzuzeigen und die notwendigen Abschirmungen und sonstigen Sicherheitseinrichtungen auszulegen.

Das Aktivitätsinventar des HSD-Brennstabes wurde vorgegeben; es wurde nach dem Programm "INVENT" berechnet. Zusätzliche Aktivitäten des Kreislaufes sind die aktivierten Korrosionsprodukte und die ^{16}N -Aktivität. Für die einzelnen Kreislaufzonen wurden die Kühlmittelaktivitäten der Ausgangsnuklide und der 1. und 2. Folgenuklide sowie die an den einzelnen Bauteilen abgelagerten Nuklide berechnet. Der Aktivitätsinhalt eines Bauteils in einer Kreislaufzone ergibt sich aus den im Kühlmittel gelösten und aus allen an den Bauteiloberflächen abgelagerten Aktivitäten. Mit Hilfe der so gewonnenen Strahlenquellen wurde für jede Zone und jedes Bauteil die Dosisleistung in einer Entfernung von 1 m bei verschiedenen Abschirmungen (0; 5; 10; 15; 20 und 25 cm Blei sowie bei 60 cm Beton) berechnet.

Als maximaler Störfall wurde das Schmelzen der Brennstabhülle bei unbeschädigtem Kreislauf betrachtet; für diesen Fall treten 100 % der Edelgase, 50 % der Halogene und 50 % der flüchtigen Spalt-nuklide, die oberhalb 1400°C entweichen, in den Kreislauf. Mit dieser erhöhten Kreislaufaktivität wurde wieder die Dosisleistung der einzelnen Komponenten bei den oben genannten Abschirmungen berechnet.

Als GAU wurde der Bruch der Kühlmittelleitung hinter dem Reaktoreinsatz im Raum R 111 angesehen. Über die Schadensstelle dampft der Kreislauf innerhalb von 100 s aus. Die damit verbundene Aktivitätsfreisetzung wurde wie folgt angenommen:

- a: 100 Sekunden Freisetzung aus dem Brennstab mit der Freisetzungsrates des Normalbetriebes.
- b: Erhöhte Freisetzung aus dem Brennstab infolge Hüllrohrschmelzens: Ausströmen der flüchtigen Spaltprodukte (etwa 1700 Ci Edelgase, 700 Ci Halogene und 500 Ci flüchtige Stoffe Br, Cs, Te, Sr usw.) in 100 s.

Strahlenbelastung im Raum R 111:

Fall a:

Aufenthaltszeit 100 s Schilddrüsendosis $D = 0,27$ rem
" 1000 s " " $D = 5$ rem

Fall b:

Aufenthaltszeit 100 s Schilddrüsendosis $D = 1,2 \cdot 10^3$ rem
" 1000 s " " $D = 2,2 \cdot 10^4$ rem
" 1000 s äußere Bestrahlung $D = 3$ rem

Belastung der Umgebung des Kernforschungszentrums:

Wenn im Fall b die Aktivität über den Abluftkamin abgegeben wird, beträgt bei ungünstiger Wetterbedingung und Daueraufenthalt am ungünstigsten Punkt (ca. 1,3 km Entfernung) die Schilddrüsendosis 0,16 rem.

Da die angeführten Rechnungen für etwa 130 Nuklide durchgeführt wurden, war es notwendig, ein Rechenprogramm zu schreiben.

7.4 Reaktorsicherheitsfragen

7.4.1 Auswirkungen der direkten γ -Strahlung aus dem Sicherheitsbehälter des FR 2 bei einem Unfall

W. Comper

Bei einem Unfall ist vor allem die γ -Strahlung der freigewordenen Spaltprodukte für die Belastung der unmittelbaren Umgebung des FR 2 maßgebend. Bei der Berechnung wurde vorausgesetzt, daß der Reaktor ein Jahr mit Vollast von 60 MW in Betrieb war. Es wurde angenommen, daß sich die aus dem Core freigesetzte Aktivität gleichmäßig in der Rotunde verteilt. Die resultierende γ -Dosisleistung sowie die integrierte Dosis wurden für verschiedene Zeiten nach dem Freisetzen der Aktivität in bestimmten Entfernungen vom Reaktor (50 m bis 2 km) berechnet.

Die Rechnungen wurden für verschiedene Freisetzungsraten der Spaltprodukte durchgeführt:

Fall	Freisetzung in %		
	Edelgase	Halogene	feste Spaltprodukte
a	100	100	1
b	100	50	1
c	50	5	0,01
d	25	1	0,01

Die Rechnungen wurden für Kugel- und Zylindergeometrie der Reaktorrotunde durchgeführt. Die Aktivität der Nuklide wurde aus dem ORNL-Bericht 2127 entnommen.

Für den GAU des FR 2 ergab die Rechnung in einer Entfernung von 1 km und bei einer Aufenthaltszeit von 10 Tagen eine Ganzkörperdosis von ca. 0,13 rem.

Für die Rechnungen wurde ein FORTRAN-Programm geschrieben.

7.4.2 "Rod-ejection"-Unfall beim HDR

W. Hübschmann

Im Rahmen einer Untersuchung der Reaktorsicherheitskommission über die Sicherheit des Heißdampfreaktors Kahl (HDR) wurde der "rod-ejection"-Unfall dieses Reaktors analysiert. Ein solcher Unfall ist möglich, wenn der Rohrstutzen, an dem der Steuerstabantrieb angeflanscht ist, abreißt. Die Folgen lassen sich vorerst nur qualitativ abschätzen, da zuverlässige Berechnungsmodelle noch fehlen. Es wurde festgestellt, daß dieser Unfall nach menschlichem Ermessen ausgeschlossen sein muß, da die Folgen nicht sicher beherrscht werden können.

Folgende Maßnahmen wurden vorgeschlagen, um die Wahrscheinlichkeit weiter zu reduzieren:

- Leckage-Anzeige (durch Aerosol-Messung) im Stabantriebsraum
- routinemäßige Inspektionen, evtl. laufende Überwachung durch Fernsehkamera
- routinemäßiger Wechsel der Flanschschauben
- möglicherweise eine weitere Verstärkung der Flanschschauben und eine Kontrolle des Schraubenanzugs durch Dehnungsmessung.

Von diesen Maßnahmen wird die routinemäßige Inspektion durchgeführt werden. Sie erscheint auch wirtschaftlich tragbar, da es sich um einen Versuchsreaktor handelt.

7.4.3 Kernnotkühlung des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN)

W. Hübschmann

Die besondere Konzeption des KKN bedingt eine außergewöhnliche Art der Kernnotkühlung. Bei einem Verlust des CO₂-Druckes infolge Lecks müssen der Reaktor und die CO₂-Umwälzgebläse abgeschaltet werden. Die Nachzerfallswärme der Brennstäbe muß durch Wärmeleitung über das stagnierende CO₂-Gas an die gekühlten Druckrohre abgegeben werden. Für eine sichere Nachwärmeabfuhr sind zwei Bedingungen zu erfüllen:

- Die Druckrohre müssen immer auf niedriger Temperatur ($< 100^{\circ} \text{C}$) gehalten werden; daher darf die Kühlung der Druckrohre nicht versagen.
- Das zur Ableitung der Nachwärme vom Brennstabbündel an das Druckrohr erforderliche Temperaturgefälle darf nicht so groß werden, daß die Brennstabhülle oder der Brennstoff schmelzen.

Die Erfüllung der ersten Bedingung wird durch einen hohen Grad an Redundanz für das äußere Notkühlsystem erreicht.

Die Erfüllung der zweiten Bedingung jedoch ist problematisch. Im Normalbetrieb wird der Wärmeverlust vom Kühlgas an den D_2O -Moderator durch die Zwischenschaltung von drei Gasspalten wirksam verhindert. Zu den drei Gasspalten kommt im Falle der Notkühlung noch der Wärmetransport durch das stagnierende CO_2 im Kühlkanal hinzu. Der Wärmetransport auf diesem Wege ist daher unter Notkühlbedingungen wirksamer erschwert als im Normalbetrieb; der abzuführende Wärmestrom ist jedoch in der kritischen ersten Phase nach Abschalten größer als der Wärmeverlust an das D_2O bei Normalbetrieb. Die Fa. Siemens gelangt aufgrund ihrer Berechnungen zu dem Schluß, daß die zentrale Hüllentemperatur nach 20 min maximal 1300°C erreicht. Bei dieser Temperatur platzen zwar die Brennstabhüllen; die Stäbe behalten jedoch im übrigen ihre geometrische Form, reißen also nicht ab. (Bei 1300°C reißen die Stäbe infolge Eigengewichts erst nach 2 h ab.) Diese Behauptung wurde mit herkömmlichen Rechenmethoden und mit konservativen Annahmen nachgeprüft.

Zum Zeitpunkt des Temperaturmaximums ist eine stationäre Berechnung anwendbar; denn die erzeugte Energie ist gleich der abgeführten. 20 Minuten nach Abschalten beträgt der Nachwärmepegel entsprechend einer sicheren, oberen Grenze

$$2,1 \% \approx \text{ca. } 4,5 \frac{\text{W}}{\text{cm}} .$$

Für diese Stabileistung wurde eine Hüllentemperatur

des zentralen Stabes von ca. 1600°C
der äußeren Stäbe von ca. 1500°C

berechnet. Bei diesen Temperaturen schmilzt der Hüllwerkstoff. Daher läßt sich die Behauptung, die Stäbe würden im Falle des GAU nicht reißen, nicht aufrechterhalten.

Als Ergebnis dieser Untersuchung wurde festgestellt, daß beim GAU eine Reihe von Stäben (Größenordnung 50) abreißen können. Es wurde vorgeschlagen, die Naturkonvektion zur Wärmeabfuhr bei stagnierendem Gasstrom heranzuziehen, um Wärme von der Kernmitte an die Randzonen zu transportieren.

7.4.4 Thermischer Lift

W. Helm, W. Hübschmann

In einem Memorandum wurde die Bedeutung des sog. "thermischen Lifts" qualitativ und an einem konkreten Fall quantitativ untersucht. Hierbei ging es darum festzustellen, welcher Gültigkeitsbereich diesem theoretischen Modell zur Beschreibung des Verhaltens einer mit Spaltprodukten beladenen Abgasfahne zukommt.

Wird von einem Kernreaktor bei einem schweren Störfall eine radioaktive Wolke ausgestoßen, so erwärmt sich diese Wolke durch Selbstabsorption ihrer Strahlungsenergie. Sie erhält dadurch einen thermischen Auftrieb. Dieser Auftrieb wirkt so lange, bis die Wolke durch die atmosphärische Ausbreitung soweit verdünnt ist, daß andere Effekte (Turbulenz) überwiegen. Der Aufstieg der Abgaswolke, der sogenannte "thermische Lift", kann unter bestimmten Umständen die Wirkung eines Schornsteins verstärken oder sogar ersetzen.

Der Effekt wurde von F.A. Gifford thermodynamisch untersucht und wird von J.R. Beattie bei schweren Reaktorstörfällen geltend gemacht.

Würde man die bei einem GAU in die Atmosphäre freigesetzte Spaltproduktaktivität zugrunde legen, so würde selbst bei vollständiger Absorption der Strahlungsenergie innerhalb der Abgasfahne die Aktivität viel zu gering sein, um die Abluftfahne nennenswert zu erwärmen. Erst bei wesentlich höherer Spaltproduktkonzentration ist

ein merklicher Beitrag zum thermischen Auftrieb zu erwarten. Eine so hohe Spaltproduktkonzentration kann bei Reaktoren mit Sicherheitsbehälter nur dann auftreten, wenn der Sicherheitsbehälter zur Zeit des Unfalls offen ist (Beschädigung oder Funktionsfehler der Schließorgane). Ein solcher Fall wird hier zugrunde gelegt, ohne auf die Möglichkeit oder Wahrscheinlichkeit eines solchen Vorfalles näher einzugehen.

Das Modell von Gifford wurde auf die Gegebenheiten angewendet, die beim Niederschmelzen des Cores eines $3000 \text{ MW}_{\text{th}}$ -Reaktors zu erwarten sind.

Zur Berechnung des "thermischen Lifts" macht Gifford folgende Annahmen:

- Die Leistung der Spaltprodukte wird als konstant angenommen.
- Die α - und β -Aktivität wird vollständig, die γ -Aktivität etwa zur Hälfte innerhalb der Abluftfahne absorbiert.
- Die normale Schornsteinüberhöhung - verursacht durch die Düsenwirkung des Schornsteins - wird vernachlässigt.
- Die Abgasfahne hat die Form eines liegenden Konus. An der Spitze des Konus wird die Aktivität in die vorbeiströmende Luft injiziert. In jeder vertikalen Schnittfläche des Konus ist die Aktivität gleichmäßig verteilt.

Die Abb. 39 zeigt eine nach dem Modell von Gifford und mit einer mittleren Emission der Spaltproduktaktivität von $0,02 \text{ MW/s}$ errechnete Form der Abluftfahne mit thermischem Lift.

Die Abluftfahne steigt zunächst schräg an und verbreitert sich linear. Ab etwa $x = 250 \text{ m}$ werden die Einflüsse der Luftbewegung (Stabilität, Turbulenz) stärker wirksam. Dadurch wird der weitere Aufstieg abgebremst.

Die letzte der 4 Annahmen beschränkt das Modell grundsätzlich auf die Abgabe der Spaltprodukte über einen Schornstein. Für diesen Fall stellt das Modell zweifellos eine brauchbare Methode dar, sich

einen Überblick über die Größenordnung der Wirkung des thermischen Lifts zu verschaffen.

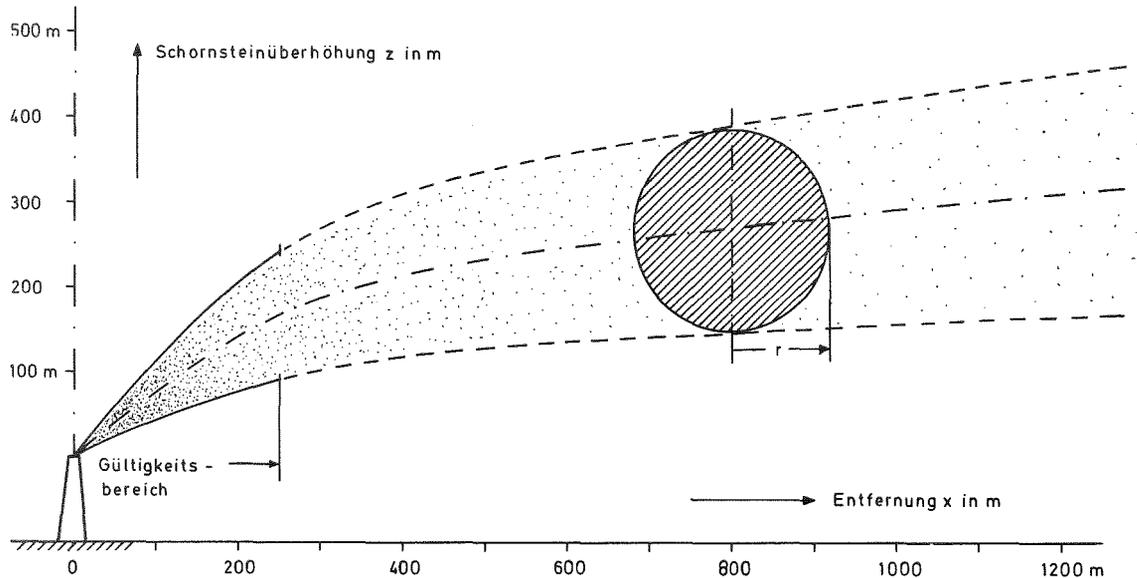


Abb. 39: Abgasfahne mit thermischem Lift

Der Auftrieb hängt stark von der emittierten Spaltproduktaktivität ab. Unter extremen Annahmen kann er für einen Reaktor von 3000 MW thermischer Leistung einen Aufstieg von 100 bis 200 m bewirken. Die Bodenkonzentration und damit die Schilddrüsensdosis der betroffenen Personen kann dadurch merklich reduziert werden. Nimmt die Spaltproduktaktivität um den Faktor 1000 ab, dann sinkt der bewirkte Aufstieg auf 1/10.

Das Modell ist in einer Übergangsphase gültig und gut anwendbar, in der die Abluftfahne etwa linear ansteigt. Das gilt bis zu einer Entfernung von 200 bis 500 m, abhängig von den meteorologischen Parametern. In größerer Entfernung beginnt der Einfluß der

Luftbewegungen zu überwiegen, so daß nicht nur der rechnerische Aufstieg kleiner wird, sondern auch das Modell seine Anwendbarkeit verliert.

Wird die Spaltgaswolke in Bodennähe aus dem Sicherheitsbehälter direkt in die Atmosphäre emittiert, dann bestehen erhebliche Einwände gegen die Anwendung dieses Modells. Die Abgaswolke wird in eine gestörte Luftströmung und in einen wesentlich vergrößerten Luftquerschnitt injiziert. Es muß angenommen werden, daß dadurch die Auftriebswirkung nicht mehr der überwiegende Effekt ist, sondern daß Stabilität und Turbulenz der Atmosphäre einen wesentlichen Einfluß auf die Bewegung der Abluftfahne ausüben. Da in diesem Bereich das Modell von Gifford nur beschränkt anwendbar ist, können Zahlenangaben über die Wirkung des thermischen Lifts noch nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit gemacht werden.

7.5 Rechenprogramme

H. Elbel

Die Fortsetzung der Auswertung meteorologischer Daten und die Durchführung spezieller Abschirmungsberechnungen machte eine Ergänzung und Erweiterung der Programmbibliothek erforderlich.

- Im Rahmen der Auswertung meteorologischer Daten sind drei Programmkomplexe in Angriff genommen worden:

Der erste Programmkomplex dient der Bestimmung der Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit in ausgewählten Meßhöhen über vorgegebene Zeiträume. Die Zwischenergebnisse und das Endergebnis werden auf Lochkarten zwecks weiterer maschineller Bearbeitung ausgegeben. Zusätzlich können sie sowohl in einer Tabelle als auch graphisch dargestellt werden.

Der zweite Programmkomplex läßt die Berechnung von Höhenlinien gleicher Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit zu. Das Endergebnis wird graphisch dargestellt.

Der dritte Programmkomplex befindet sich ebenso wie der zweite noch im Aufbau. Er soll die Untersuchung sowohl des Windgeschwindigkeitsprofils als auch des Temperaturprofils ermöglichen. Die Ergebnisse werden einerseits graphisch, andererseits in Tabellen dargestellt.

- Die zur Bearbeitung übernommenen Abschirmungsberechnungen ließen es wünschenswert erscheinen, die vorhandenen Abschirmungsprogramme durch zwei weitere zu ergänzen:

Programm zur Berechnung der Gamma-Dosisleistung für zylindrische Geometrie an der Oberfläche einer einschichtigen Abschirmung unter Verwendung eines katalogisierten Integrationsprogrammes,

Programm zur Berechnung der Gamma-Dosisleistung für ebene oder zylindrische Geometrie an der Oberfläche einer mehrschichtigen Abschirmung unter Verwendung desselben Integrationsprogrammes.

Alle erwähnten Programme sind für die Rechenanlage IBM 360/65 geschrieben. Sie gehen davon aus, daß alle Eingabedaten auf Lochkarten vorliegen.

8. Meteorologie

Die Aufgabenstellung der Gruppe Meteorologie ist im Berichtsjahr erweitert worden. Die zentrale Aufgabe wird die Erforschung der Ausbreitungsvorgänge in der Atmosphäre sein. In diesem Rahmen ist eine Neu-Instrumentierung des meteorologischen Turmes und eine automatische Datenspeicherung der Meßwerte auf Magnetband vorgesehen. Die Planung wurde im Berichtsjahr abgeschlossen und die Neu-Instrumentierung in Angriff genommen.

Die Auswertung der bisher vorliegenden Meßdaten (Analogaufzeichnung der Windrichtung in 60 m und 200 m Höhe und digital ausgedruckte Windgeschwindigkeitswerte in 10 Meßhöhen zwischen 20 und 200 m) wurde fortgeführt, sowohl hinsichtlich der Statistik als auch hinsichtlich interessanter Einzelsituationen.

Zum Vergleich der theoretischen Ausbreitungsmodelle mit der tatsächlichen Ausbreitung im Raum des Kernforschungszentrums Karlsruhe werden - in Zusammenarbeit mit der Gruppe Überwachung - Ausbreitungsversuche mit Tritium durchgeführt. Der erste derartige Versuch führte zu einer bemerkenswert guten Übereinstimmung zwischen Modellvorstellung und Versuch.

8.1 Instrumentierung des Meßmastes

W. Hübschmann

Das Windgeschwindigkeitsprofil wird mit Schalenanemometern in 10 Höhen am Turm und auf der Meßwiese gemessen (Abb. 40).

Während bisher der Windweg bereits im Meßgerät integriert wurde und daher eine Aussage über Fluktuationen nicht möglich war, werden künftig am Turm als wesentliche Neuerung die Augenblickswerte registriert und aus diesen sowohl der zeitliche Mittelwert als auch ein Maß für die Geschwindigkeitsfluktuation berechnet.

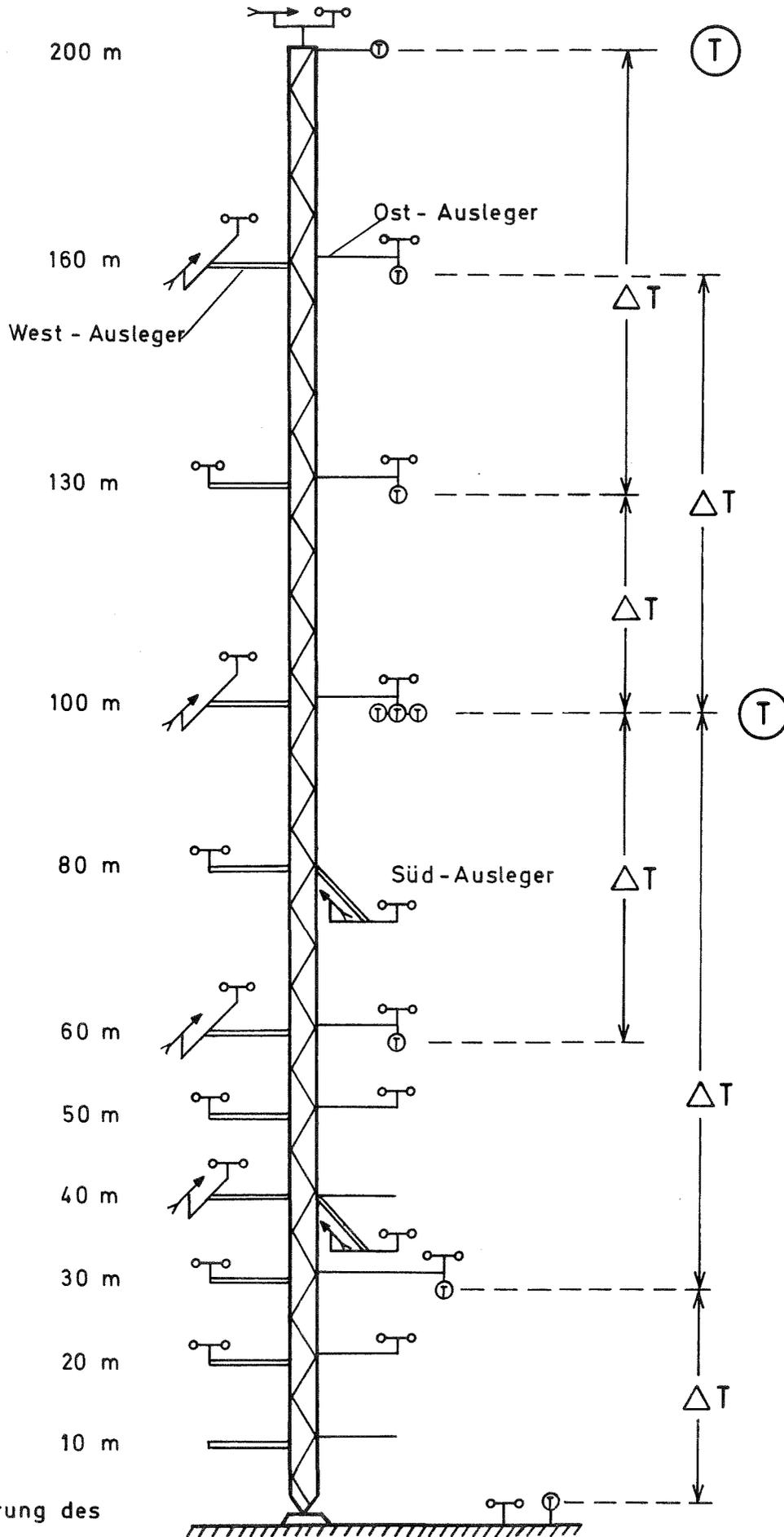


Abb.40:
Instrumentierung des
Messturms

Technisch ist dieses Problem so gelöst, daß alle 4 sec die Umfangsgeschwindigkeit jedes Anemometers auf optischem Weg abgefragt wird. Die Auflösung der Windgeschwindigkeitsschwankungen ist begrenzt durch die Trägheit der rotierenden Masse. Das dynamische Verhalten der Anemometer wurde im Windkanal durch Anlaufversuche geklärt. Die Ergebnisse stimmen gut mit amerikanischen Untersuchungen sowie mit theoretischen Berechnungen überein. Die Instrumente haben im neuen Zustand eine Anlaufschwelle von 0,4 - 0,6 m/sec.

Das Windrichtungsprofil wird in 5 Höhen am Mast gemessen. Um Richtungsfluktuationen gut auflösen zu können, werden leichte Schwertwindfahnen verwendet. Die Richtungswerte werden ebenso wie die Geschwindigkeit alle 4 sec abgefragt. Die Daten werden statistisch verarbeitet, d. h. neben der mittleren Windrichtung wird die Häufigkeit der Richtungsschwankungen erfaßt.

Die Messung des Temperaturprofils stellt wegen der erforderlichen Genauigkeit einerseits und der Möglichkeit von Störungen in den langen Übertragungsleitungen andererseits ein besonderes Problem dar. Das Temperaturprofil wird durch Temperatur-Differenzmessungen mit Widerstandsthermometern in 7 verschiedenen Höhenbereichen gemessen. Als Bezugspunkt und zur Kontrolle dienen Temperaturmessungen in 3 Höhen.

Um Abweichungen vom adiabatischen Temperaturgradienten (etwa $- 1^{\circ} \text{C}/100 \text{ m}$) sicher feststellen zu können, sollen die Fehler $\pm 0,05^{\circ} \text{C}$ bei Differenzen und $\pm 0,1^{\circ} \text{C}$ bei Temperaturen nicht überschreiten. Um diese Genauigkeit zu erreichen, wurde im Labor für Elektronik und Meßtechnik eine Schaltung entwickelt, bei welcher alle zu erwartenden Temperatur- und Störspannungseffekte in den Zuleitungen kompensiert werden.

Weitere Meßwerte werden die vollständige meteorologische Situation kennzeichnen, um unter Umständen auch außergewöhnliche Situationen aus den gespeicherten Daten rekonstruieren zu können.

Zu diesen Messungen gehören:

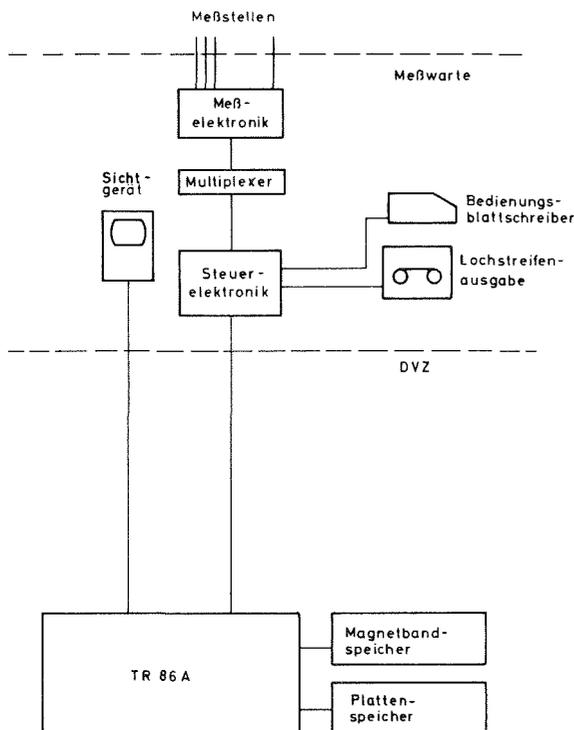
- Feuchte
- Strahlungsbilanz
- Luftdruck
- Niederschlag

8.2 Datenspeicherung

W. Hübschmann

Zur automatischen Abfrage und Registrierung der Daten wird ein Prozeßrechner des Typs PDP-8/I eingesetzt. Dies ist ein kleiner, flexibler Rechner mit 12k-Kernspeicher, 12 bit Wortlänge, 1,5 μ s Zykluszeit.

Der Rechner wird mit vollständiger "software" übergeben. Der Rechner fragt die Meßgeber in bestimmten Abständen ab, prüft die Daten auf Fehler oder Bereichsüberschreitung, reduziert die Daten und überträgt den reduzierten Datensatz alle 10 Minuten an den in der Datenverarbeitungszentrale (DVZ) aufgestellten Rechner TR-86A, welcher diesen Datensatz auf Magnetband speichert (s. Abb. 41).



Der Eingangsdatenfluß beträgt etwa 30 bis 40 Dezimalzeichen/s, das bedeutet ca. 100 bit/s.

Der Urdatenfluß wird durch Mittelung und statistische Verarbeitung etwa um den Faktor 10 reduziert, so daß je 10-Minuten-Zyklus etwa 2000 Dezimalzeichen abzuspeichern sind.

Der an den TR-86A übertragene Datensatz wird dort auf Magnetband gespeichert und auf Plattenspeicher zwischengespeichert.

Abb. 41: Automatische Messwert-Registrierung, Schaltbild

Der Plattenspeicher hält die reduzierten Datensätze der jeweils letzten 3 Stunden fest, so daß diese Information jederzeit verfügbar ist. Auf Wunsch oder wenn der TR-86A nicht aufnahmebereit ist, kann der Datensatz in der Meßwarte auf Lochstreifen ausgedruckt werden. Dies erfordert ein späteres Übertragen auf Magnetband.

Zur Abfrage der Meßwerte sind folgende Wege vorgesehen (s. Abb. 41):

- Anzeige und Ausdrucken wichtiger Schlüsselwerte in der Meßwarte,
- Ausdrucken des 10-Minuten-Datensatzes in der DVZ vom Plattenspeicher,
- Übertragen der Plattenspeicher-Information an den PDP-8/I und Ausdrucken auf Blattschreiber,
- Anzeige des Windgeschwindigkeits-, Windrichtungs- und Temperaturprofils in Diagrammform auf einem Sichtgerät in der Meßwarte.

8.3 Untersuchungen zur Struktur der vertikalen Windverteilung

E. Bolender

Hauptgegenstand der meteorologischen Arbeiten war eine detaillierte Untersuchung der mit konventionellen Registriereinrichtungen für den horizontalen Wind erfaßten Werte der Windrichtung und Windgeschwindigkeit als wesentliche Bestimmungsgrößen für die Ausbreitung luftfremder Stoffe in der Atmosphäre.

Abweichend von der meist üblichen Vorstellung langfristig gemittelter, im Vertikalaufbau einfach zu beschreibender Windfelder, wie sie im allgemeinen für die statistische Darstellung von Konzentrationsverteilungen vorausgesetzt werden, sind es die realen, am Standort des Kernforschungszentrums anzutreffenden Strömungsverhältnisse, die eingehend bearbeitet werden. Sie bilden sowohl die Grundlage für eine rasche, überschlägige Beurteilung der in

der Routine oder bei Störfällen geforderten meteorologischen Auskünfte als auch einen der Ausgangspunkte bei den geplanten Grundsatzstudien zur Verbesserung der Ausbreitungsrechnung.

Das besondere Interesse beanspruchen die noch ungenügend bekannten Zusammenhänge zwischen dem turbulenten Vertikalaustausch einerseits und der Windschichtung - einschließlich ihrer zeitlichen Änderung - an einem weiträumigen Talstandort andererseits. Wie die anhand von Zehn-Minuten-Mittelwerten dargestellten Höhen-Zeit-Schnitte der Windgeschwindigkeitsverteilung der untersten 200 m-Schicht erkennen lassen, treten besonders während austauscharmer Situationen Strukturen im Windfeld auf, deren auffällige Differenzierung nach Höhe und nach Zeit die Abbildung 42 veranschaulicht. (Windgeschwindigkeits-schichtung am 29./30.6.67 und 30.6./1.7.67. An beiden Tagen ungestörtes Strahlungswetter im Bereich eines ausgedehnten Hochdruckgebietes; Windrichtung: Süd bis Süd-West.)

Aufgrund der bisher verzeichneten Fälle der vorzugsweise an die Nachtstunden gebundenen "anormalen" Windschichtungen und -strukturen schien ein erster, orientierender Versuch gerechtfertigt, drei gegeneinander abgrenzbare Typen solcher Höhen-Zeit-Schnitte der Windgeschwindigkeit auszusondern. Die Deutung der ursächlichen Zusammenhänge für die Entstehung und den zeitlichen Ablauf dieser Phänomene wird noch weitere Meßergebnisse und zusätzliche Informationen erfordern. Es scheint sich hierbei um das komplizierte Zusammenwirken der Austauschverhältnisse, der bodennahen Strömungsverhältnisse sowie unter Umständen geringster horizontaler Luftdruckgradienten eines in spezifischer Weise durch benachbarte Formen des Großreliefs bestimmten Landschaftsraumes zu handeln.

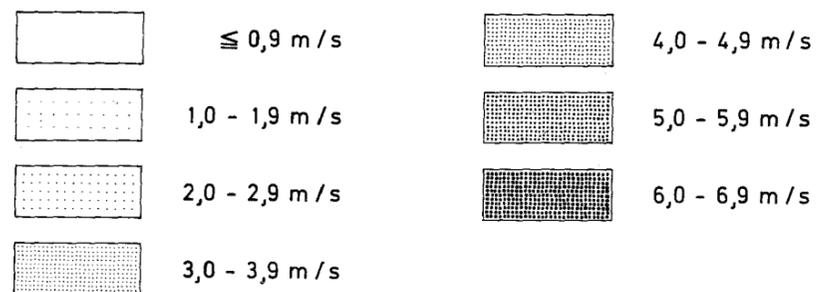
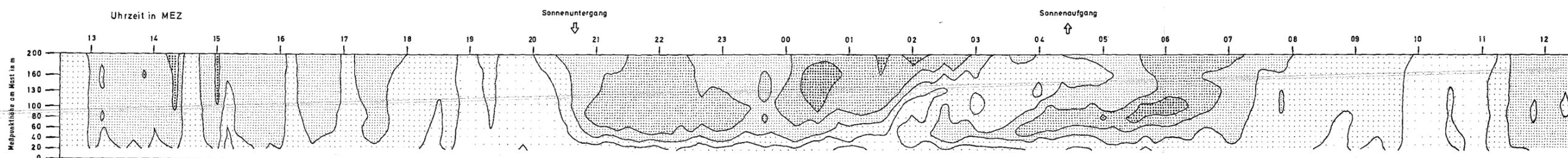
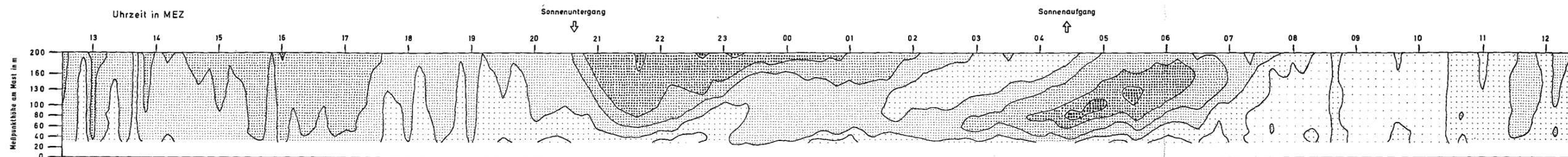


Abb. 42:
 Höhen-Zeit-Schnitte der Windgeschwindigkeiten
 (dargestellt durch Zehnminuten-Mittelwerte)
 am Zweihundertmeter-Meßmast
 im Kernforschungszentrum Karlsruhe

29./30. Juni 1967 - obere Abb. , 30. Juni / 1. Juli 1967 - untere Abb.
 jeweils von Mittag zu Mittag

Während die für die Schnittauswertung benötigten Einzelwerte der Zehn-Minuten-Mittel der Windgeschwindigkeit aufgrund ihrer digitalen Darstellung durch einen Zehnkanaal-Drucker relativ rasch weiterverarbeitet werden können, setzt die Auswertung der zeitlich zugeordneten Zehn-Minuten-Werte der Windrichtung einen erheblich größeren Aufwand für die Umsetzung der Analogregistrierung in Zahlenwerte voraus. Da dies ebenfalls für die Anfertigung der Richtungs-Schnittdarstellung zutrifft, bleiben synchrone Windgeschwindigkeits-Windrichtung-Höhen-Zeit-Schnitte auf vereinzelte Fälle beschränkt. Zur Zeit werden die seit September 1967 gewonnenen Windrichtungswerte aus mindestens zwei Meßhöhen statistisch auf den Zusammenhang mit Jahres- und Tagesgang - als Ersatz für fehlende Schichtungs- bzw. Stabilitätsparameter - untersucht. Die auffälligen Unterschiede im Tagesgang bestimmter Windrichtungen parallel und quer zum Rheintalverlauf liefern ein weiteres Kriterium für die Wechselwirkung zwischen dem Strömungsfeld sowie dem Vertikalaustausch in Verbindung mit dem Landschaftsrelief.

8.4 Auswertung meteorologischer Daten zur Bestimmung der Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und -geschwindigkeit (Dez. 1967 - Dez. 1968)

H. Elbel

Am 200 m hohen meteorologischen Meßmast wurden seit Juni 1967 in zehn Meßhöhen die Windgeschwindigkeit als ein Zehn-Minuten-Mittelwert digital und seit September 1967 in zwei, seit Juni 1969 in drei Meßhöhen die Windrichtung analog gemessen. Die Meßwerte wurden, soweit sie digital vorlagen, durch einen Drucker registriert, soweit sie analog anfielen, durch Linienschreiber festgehalten. Die rationelle Auswertung des umfangreichen Datenmaterials machte die Anwendung einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage erforderlich.

Der Einsatz einer solchen Anlage verlangte auf der einen Seite das Erstellen von Rechenprogrammen, die an die Ziele der Auswertung angepaßt waren, und auf der anderen Seite das Überführen der Meßwerte auf einen Datenträger, der von der Anlage akzeptiert wurde. Als solcher war zunächst allein die Lochkarte anwendbar.

Das Ablochen der an einem Tag registrierten Geschwindigkeitswerte aus zehn Meßhöhen nahm eine Zeit zwischen 45 und 60 Minuten in Anspruch ohne Anrechnung der für die Vorbereitung des Datenmaterials aufgewendeten Zeit. Pro Arbeitstag konnten im Mittel die Werte, die an sechs Tagen registriert wurden, abgelocht werden. Das Ablochen der an einem Tag registrierten Richtungswerte aus zwei Meßhöhen dauerte rund 20 Minuten. Die Vorbereitungszeit konnte bis zu 60 Minuten betragen. Nimmt man eine mittlere Vorbereitungszeit von 40 Minuten an, so konnten pro Arbeitstag im Mittel die an acht Tagen registrierten Richtungswerte abgelocht werden.

Aufgrund von Geräteausfällen und sonstigen Störungen des Meßvorgangs lag nur zu insgesamt 362 Tagen des ausgewerteten Zeitraums vom 1. Dezember 1967 bis zum 31. Dezember 1968 eine lückenlose Folge von Meßwerten vor. Für das Ablochen dieser Werte mußten nach den getroffenen Feststellungen etwa 106 Arbeitstage aufgewendet werden.

Von der in dem Datenmaterial enthaltenen Information wurde nur ein Teil zur Auswertung herangezogen. Das erklärte Nahziel war, die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungswerte und der Windgeschwindigkeitswerte für feste Richtungen in den Meßhöhen 60 m und 200 m zu bestimmen.

Das vorläufige Ergebnis der Auswertung sind Wertetabellen, in denen die Häufigkeitsverteilungen für die dreizehn Monate von Dezember 1967 bis einschließlich Dezember 1968, für die vier Monatetripel Dezember 1967 ... Februar 1968, März ... Mai 1968, Juni ... August 1968 und September ... November 1968 und für das Jahr 1967/68 von Dezember 1967 bis November 1968 angegeben wurden.

Die Abb. 43 bis 46 zeigen in graphischer Darstellung Durchschnitte aus den Wertetabellen für das Jahr 1967/68.

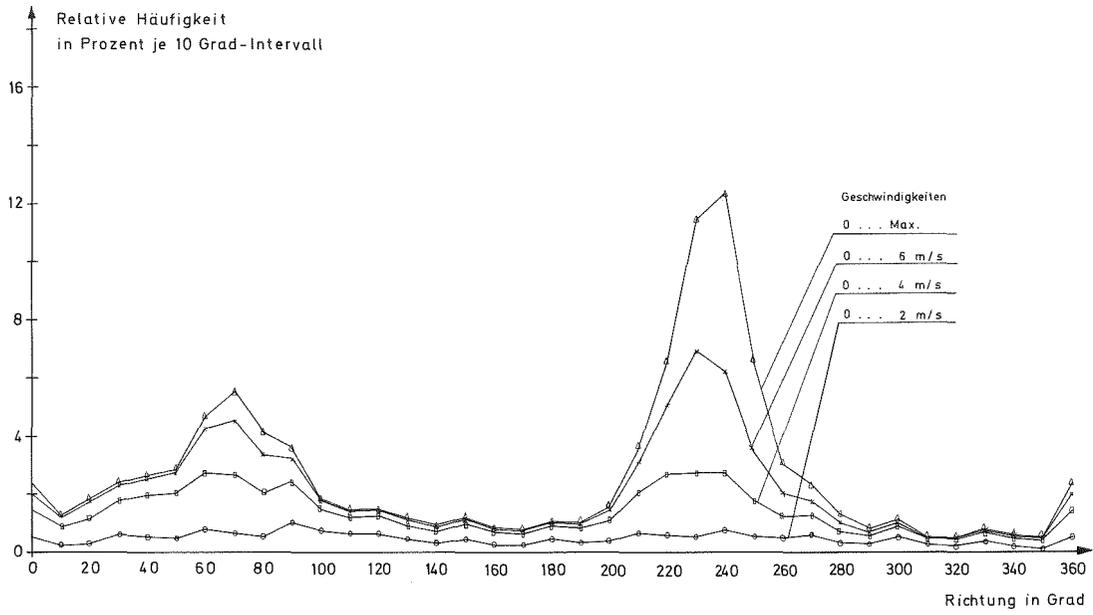


Abb. 43:
Relative Häufigkeit der Windrichtungen, Meßhöhe 60 m,
Jahr 1967/68 (Dezember bis November)

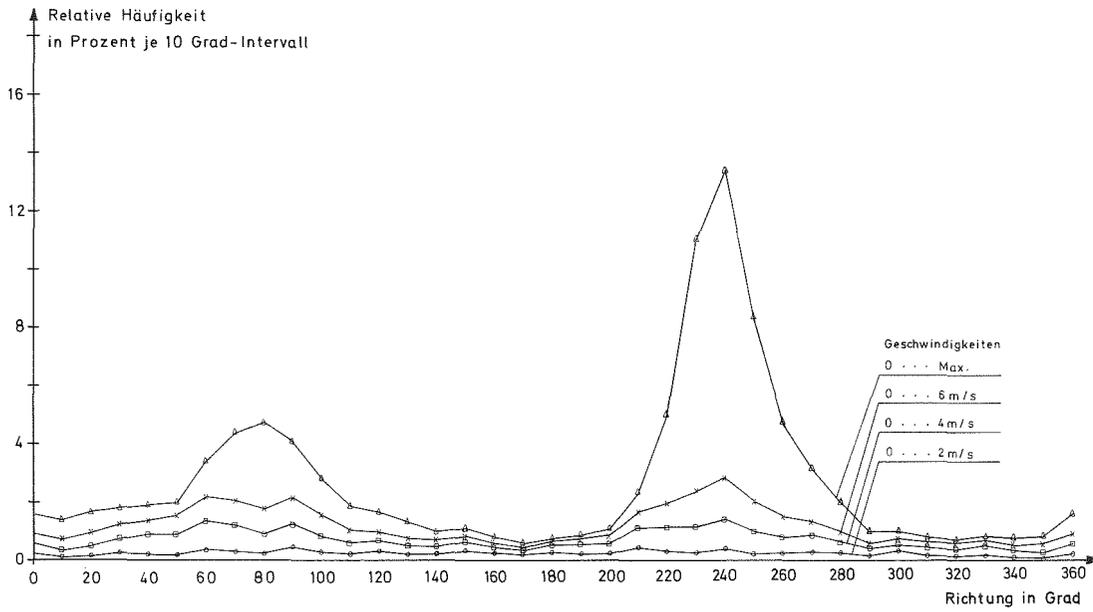


Abb. 44:
Relative Häufigkeit der Windrichtungen, Meßhöhe 200 m,
Jahr 1967/68 (Dezember bis November)

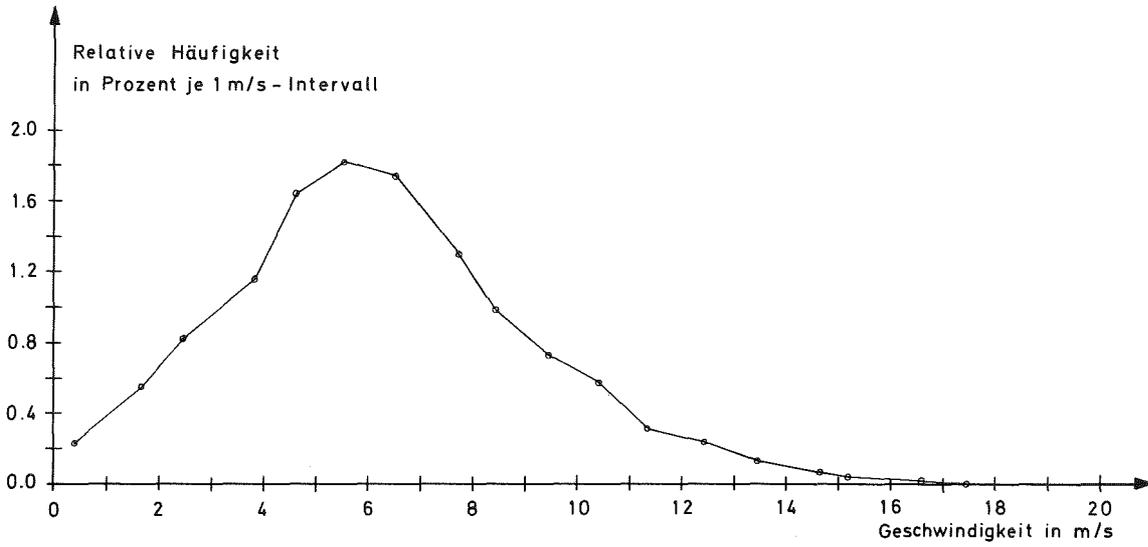


Abb. 45:
Relative Häufigkeit der Windgeschwindigkeit, Richtung 240°
Meßhöhe 60 m, Jahr 1967/68 (Dezember bis November)

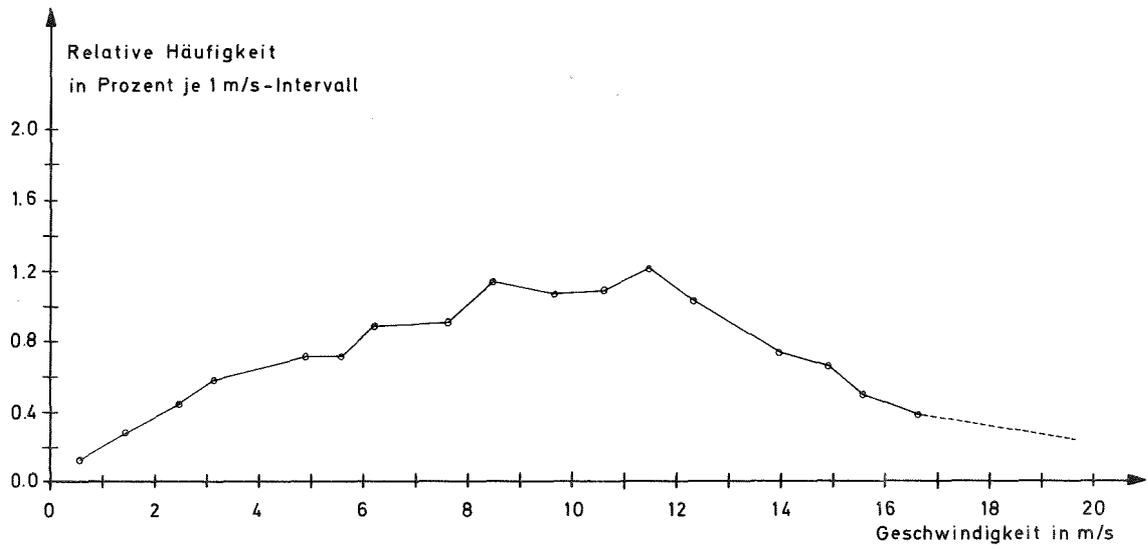


Abb. 46:
Relative Häufigkeit der Windgeschwindigkeit, Richtung 240°
Meßhöhe 200m, Jahr 1967/68 (Dezember bis November)

8.5 Ausbreitungsversuche

W. Comper, W. Hübschmann

In einer Reihe von Versuchen wird aus dem Abgasschornstein des MZFR jeweils eine kontrollierte Menge an Aktivität in die Atmosphäre abgegeben. Ziel der Experimente ist es, aus der Verteilung der Aktivität die meteorologischen Ausbreitungsparameter abzuleiten.

Die am Boden gemessenen Konzentrationswerte werden mit den berechneten Konzentrationen verglichen. Aus den Abweichungen werden Korrekturwerte bzw. neue Parameter bestimmt, die die Geländearten und die Windverhältnisse der Umgebung berücksichtigen.

Tritium in Form von Wasserdampf ist zum Studium von Ausbreitungsmessungen besonders geeignet. Die Tritiumkonzentration der Luft in der Nähe des Bodens bestimmt man dabei über die Tritiumkonzentration in der Luftfeuchte, die an Trockeneis ausgefroren wird.

Vollständig ausgewertet wurde im Berichtsjahr der erste Versuch dieser Reihe am 23. 1. 69. Bei diesem Versuch wurden 12 Ci Tritium innerhalb von 3 Stunden abgegeben. Es herrschte eine mittlere Windgeschwindigkeit von 7,4 m/s, und es lag Ausbreitungsklasse D nach Pasquill vor.

Der Versuch ist durch den günstigen Umstand gekennzeichnet, daß die Windrichtung während der Meßdauer konstant blieb. Dadurch wurde die bei Kategorie D relativ schmale Abgasfahne nicht gestreut und wurde durch die Meßwerte sehr gut abgebildet.

Das Vertikalprofil der Aktivitätskonzentration zeigt Abb. 47. Es veranschaulicht, daß in der Nähe des Aufschlagpunktes die Übereinstimmung zwischen Experiment und Rechnung naturgemäß begrenzt ist, da schon leichte Verzerrungen der Abgasfahne große Abweichungen von der Modellvorstellung bewirken. In größerer Entfernung vom Emissionspunkt dagegen ist eine höhere Genauigkeit zu erwarten. Diese These wurde durch den Versuch bestätigt.

Das Ergebnis der Auswertung des ersten Versuchs kann folgendermaßen zusammengefaßt werden:

- qualitativ ergibt sich gute bis sehr gute Übereinstimmung,
- quantitativ liegen die Meßwerte durchweg um einen Faktor von etwa 2 über der theoretischen Vorhersage.

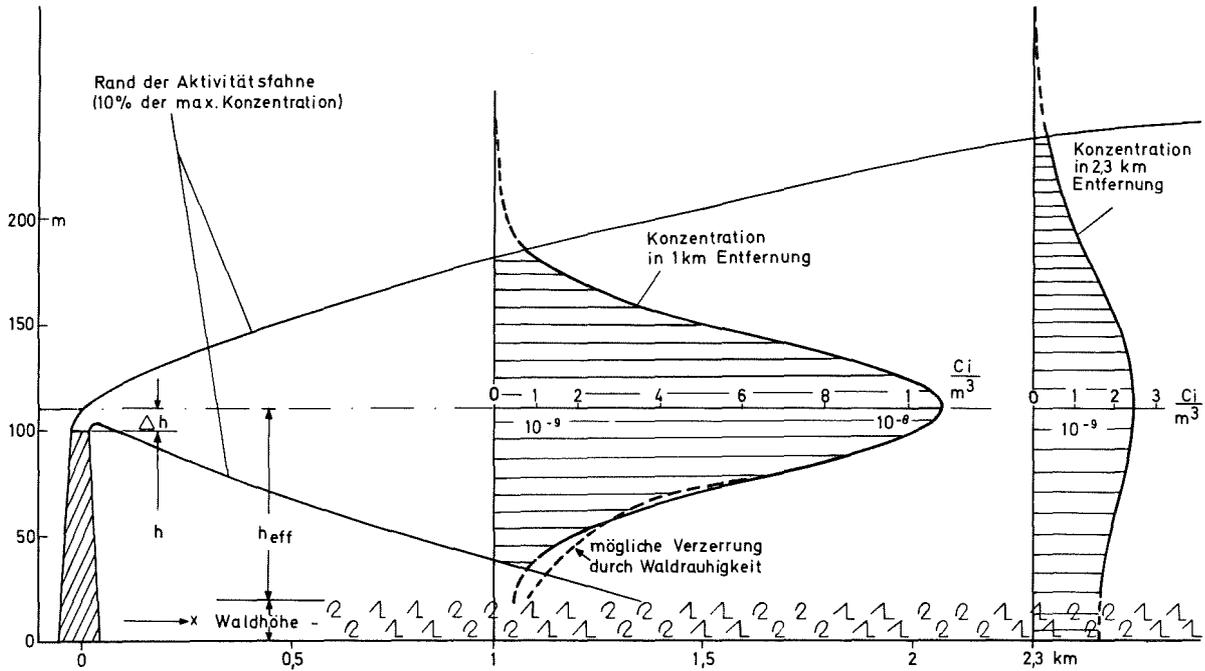


Abb.47: Vertikalprofil der Aktivitätskonzentration

9. Unfälle und Zwischenfälle

G. Stäblein

Die Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit verfolgt alle Meldungen über Zwischenfälle, Störfälle und Unfälle, die sie von den Gliederungen der Sicherheitsorganisation oder den betroffenen Betrieben unmittelbar erhält. Soweit erforderlich, werden Erhebungen zur Klärung des Sachverhaltens durchgeführt und administrative Maßnahmen, die aufgrund des Erhebungsergebnisses erforderlich sind, getroffen.

9.1 Unfallmeldungen

Für Betriebsunfälle bzw. Wegeunfälle ist eine amtliche Unfallanzeige an die Berufsgenossenschaft vom Arbeitgeber zu erstellen. Die Bearbeitung dieser Anzeigen übernimmt das Technische Sicherheitsbüro. Es wird eine Unfallkartei zu statistischen Zwecken geführt.

Von den 205 Unfallmeldungen des Jahres 1969 entfallen 183 auf Betriebs-, 20 auf Wege- und 2 auf Betriebssportunfälle.

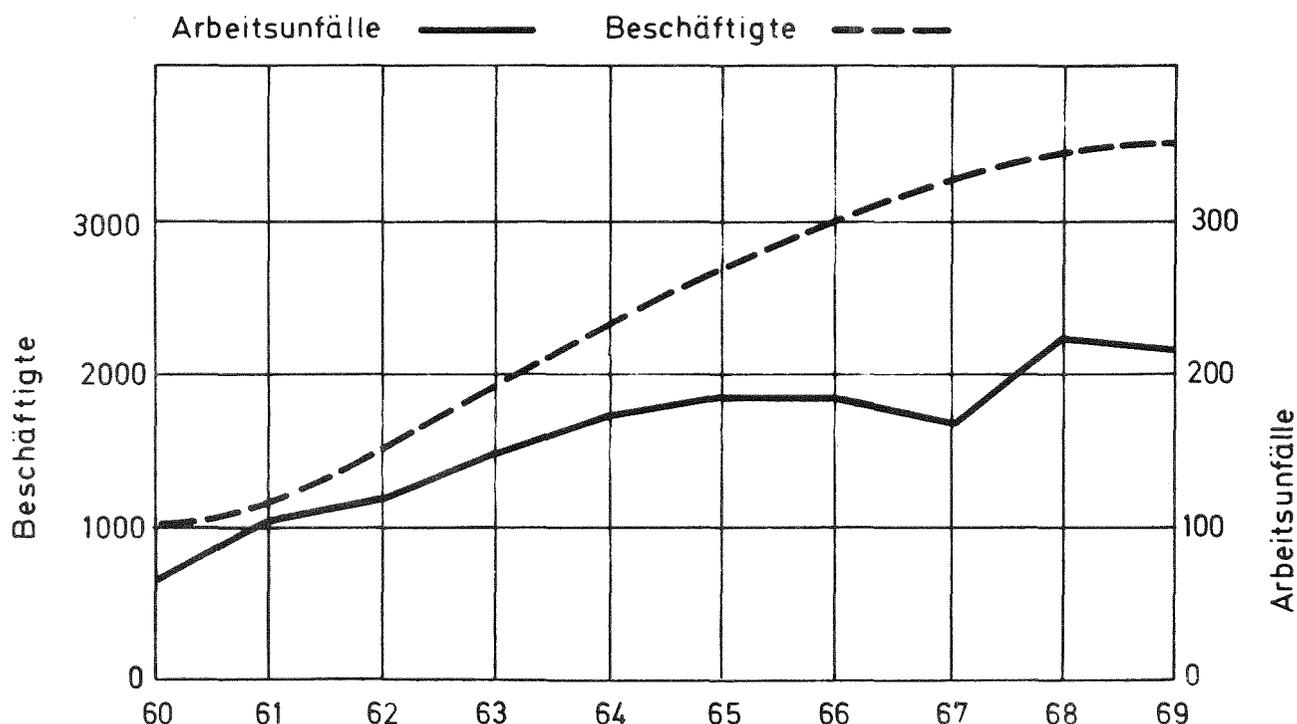


Abb.48: Entwicklung der Arbeitsunfälle und des Personalstandes 1960-1969

9.2 Alarmfälle

Es ereigneten sich 60 Zwischenfälle, die einen Einsatz der Einsatzdienste erforderten:

Brände	8
Wasserschäden	3
Personenkontaminationen	37
Raumkontaminationen	12

9.3 Besondere Vorkommnisse

E. Dietrich, G. Stäblein

10. 3. Der Fahrstuhl am meteorologischen Meßmast kollidiert mit einem in der Führung hängengebliebenen Flaschenzug. - Sachschaden
1. 7. Eine undicht gewordene Kapsel führt zu einer ausgedehnten Kontamination mit Lutetium-177 im Institut für Experimentelle Kernphysik. - Einsatz des Strahlenmeß- und Dekontaminationstrupps. Kontamination an Schuhen, Fußboden, Fahrzeugen. 13 Personen wurden im Ganzkörperzähler ausgemessen.
23. 7. Wasserrohrbruch bei Bauarbeiten, wird von der Werksfeuerwehr unter Kontrolle gebracht. - Kein nennenswerter Sach- und Gebäudeschaden.
- Juli Mehrfache Kontamination von Abluftfiltern mit Plutonium konnte letztlich auf eine unzulässige Manipulation zurückgeführt werden. - Meß- und Dekontaminationsarbeit.
28. 7. Ein vermutlicher Stromunfall; ein Mitarbeiter wird aus nicht restlos geklärter Ursache bewußtlos, Krankenhausaufenthalt erforderlich. - Einsatz der Medizinischen Abteilung und ausgedehnte Untersuchungen der möglichen Unfallursachen.

24. 8. Kontaminationszwischenfall in der ADB; durch unkontrolliertes Ausströmen von Leitungswasser werden größere Mengen α -aktiver Abfallprodukte aus einer Handschuhbox geschwemmt und durch die entstehende Überflutung über mehrere Räume des Gebäudes verteilt. - Starke Raumkontamination mit Ausfall ganzer Betriebsräume, ausgedehnte Dekontaminationsarbeiten. Gefahr des Eindringens von radioaktivem Wasser in die Regenwasserabläufe.
28. 8. Durch einen Hüllschaden an einem MASURCA-Brennstoffstab wird eine α -Kontamination in der SNEAK-Anlage verursacht, die zu einem längeren Ausfall der Experimente führt. - Meß- und Dekontaminationsarbeiten.
- 15.10. Brand in einer Baubaracke bei der Wiederaufarbeitungsanlage; die GfK-Feuerwehrebereitschaft und die Feuerwehr von Leopoldshafen werden alarmiert. - Der Brand ist nicht mit Sachschaden an der kerntechnischen Anlage verbunden.

10. Verzeichnis der Veröffentlichungen im Jahre 1969

- (1) Boldyreff, P., Kiefer, H., Krause, H., Zuehlke, K.:
The Nuclear Emergency Assistance Team,
an Institution for Nuclear Emergency Relief.
in: Handling of Radiation Accidents,
Proc. IAEA-Symp. Wien 1969, S. 567-578
- (2) Buttler, W., Edelhäuser, H.:
Neuartiges gammadosisbewertendes Kritikalitätsmeßsystem.
Atompraxis, 15 (1969)
Direct Information Strahlenschutz 3/69
- (3) Edelhäuser, H.:
Konzept einer Kritikalitätswarnanlage.
Atompraxis, 15 (1969)
Direct Information Strahlenschutz 2/69
- (4) Fessler, H., Piesch, E.:
Eine 2000-Ci-Cäsium-Bestrahlungsanlage für Kalibrierzwecke.
Kerntechnik (im Druck)
- (5) Glantz, H., Heinrich, B., Kiefer, H.:
Zur Messung von Spaltjod nach einem Reaktorunfall.
Kerntechnik, Isotopentechnik und -Chemie, 11 (1969) S. 255-257
- (6) Heil, J.J. und König, L.A.:
Die Strahlenbelastung der Umgebung des Kernforschungszentrums
Karlsruhe infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe in die
Atmosphäre.
KFK-Bericht 930, 1969
- (7) Helm, W. und König, L.A.:
Ein Vergleich der Ergebnisse der Personendosisüberwachung
mit Taschenionisationskammern und mit Filmdosimetern.
Atompraxis, 15 (1969) S. 263-264

- (8) Kiefer, H.:
Katastrophenschutzübung am Kernkraftwerk Gundremmingen.
Tagungsbericht der 4. Jahrestagung des Fachverbandes für
Strahlenschutz, Berlin 28.-30. Mai 1969, S. 261-272
- (9) Kiefer, H.:
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit.
in: Achema-Jahrbuch 1968/70, Bd. 1, S. 426-427
Dechema, Frankfurt a. M.
- (10) Kiefer, H., Maushart, R., Mejdahl, V.:
Radiation Protection Dosimetry.
in: Radiation Dosimetry. Ed. by F.H. Attix, W.C. Roesch,
E. Tochilin, 2nd. ed., Vol. III
Academic Press, New York and London, 1969, pag. 557-616
- (11) Kiefer, H., Piesch, E.:
Die Ermittlung der Strahlenqualität und der Dosis von Röntgen-
strahlung durch Tiefendosismessung in silberaktivierten
Phosphatgläsern.
KFK 977, März/April 1969
- (12) Kiefer, H., Piesch, E.:
Praktische Anwendung der Tiefendosismessung in silberakti-
vierten Phosphatglasdosimetern.
Tagungsbericht der 4. Jahrestagung des Fachverbandes für
Strahlenschutz, Berlin 28.-30. Mai 1969, S. 490-500
- (13) Kiefer, H., Piesch, E.:
Ergebnisse der mit Orts- und Personendosimetern bestimmten
Jahresdosis im Kernforschungszentrum Karlsruhe.
Strahlentherapie 138 (1969) S. 696
- (14) König, L.A. u.a.:
Arbeitsbericht des Strahlenschutzdienstes der Abteilung
Strahlenschutz und Dekontamination für das Jahr 1968.
Externer Bericht 20/69-2

- (15) König, L.A.:
Festsetzung höchstzulässiger Werte für die Ableitung radioaktiver Stoffe in die Luft.
Tagungsbericht der 4. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Berlin 28.-30. Mai 1969, S. 32-38
- (16) König, L.A.:
Über den Zusammenhang zwischen Luftkontamination und Oberflächenkontamination.
Atompraxis, 15 (1969)
Direct Information Strahlenschutz 5/69
- (17) Lenkeit, S.:
Strahlenschutzprobleme beim Umgang mit Plutonium.
Externer Bericht 20/69-1
- (18) Piesch, E.:
Improvements of Track Visualisation by Using an Interference Contrast Method.
in: Proc. of Int. Conf. on Nuclear Track Registration in Insulating Solids and Applications, Clermont-Ferrand, 6-9 May 1969
- (19) Piesch, E.:
Dosisleistungsmessung der terrestrischen und kosmischen Strahlenkomponente mit einem energiekompensierten Geiger-Müller-Zählrohr.
Atompraxis, 15 (1969)
Direct Information Strahlenschutz 4/69
- (20) Piesch, E.:
Überprüfung der γ -Diskriminierung von Rem-countern.
Atompraxis, 15 (1969)
Direct Information Strahlenschutz 6/69
- (21) Piesch, E.:
Anwendung der Interferenz-Kontrastmikroskopie zur Kernspurregistrierung in Festkörpern.
Zeiss-Informationen (im Druck)

- (22) Piesch, E. u.a.:
Arbeitsbericht des Strahlenmeßdienstes ASD/M für das Jahr 1968.
Externer Bericht 20/69-3
- (23) Piesch, E., Schmitt, A.:
Practical Choice of a Measuring Method for Aerial Surveys
in Emergency Situations.
in: Environmental Contamination by Radioactive Materials.
Proc. IAEA-Symp. Wien 1969, S. 633-649
- (24) Wilhelm, J.G.:
Nachweis des Abscheidegrades der MCA-Jodfilteranlage des
KFS Otto Hahn, Stand: Aug. 1969
Externer Bericht 20/69-4
- (25) Wilhelm, J.G.:
Trapping of Fission Product Iodine with Silver Impregnated
Molecular Sieves
KFK-Bericht 1065, Okt. 1969