

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

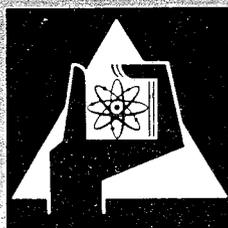
April 1967

KFK 551

Hauptabteilung Strahlenschutz und Dekontamination

Messung der örtlichen Verteilung der Strahlungsdosis in der Umgebung  
des Kernforschungszentrums Karlsruhe mit Phosphatglasdosimetern

R. Maushart, E. Piesch, M. Winter



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt.

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor.

Gesellschaft für Kernforschung m. b. H.

Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

April 1967

KFK 551

Hauptabteilung Strahlenschutz und Dekontamination  
- Strahlenmeßdienst -

MESSUNG DER ÖFTLICHEN VERTEILUNG DER STRAHLUNGSDOSIS IN DER UMGEBUNG  
DES KERNFORSCHUNGSZENTRUMS KARLSRUHE MIT PHOSPHATGLASDOSIMETERN

R. Maushart, E. Piesch, M. Winter

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Das Meßstellennetz
  - 2.1 Aussehen und Verteilung der Meßstellen
  - 2.2 Meßstellenbetreuung
  - 2.3 Behördliche Genehmigungen
3. Das Meßprogramm
4. Beschreibung des verwendeten Dosimeters
  - 4.1 Eignung des Phosphatglasdosimeters
  - 4.2 Eigenschaften des Phosphatglasdosimeters
  - 4.3 Dosismeßverfahren
5. Methode der Dosisbestimmung an der unteren Nachweisgrenze
  - 5.1 Die untere Nachweisgrenze
  - 5.2 Fehlereinflüsse
  - 5.3 Methode der Dosisermittlung im Bereich kleiner als 40 mR
6. Meßergebnisse
  - 6.1 Die örtliche Dosisverteilung
  - 6.2 Jahresdosis
7. Erreichbare Meßgenauigkeit an der unteren Dosisnachweisgrenze
  - 7.1 Einfachdosimeter-Auswertung
  - 7.2 Doppeldosimeter-Auswertung

## Zusammenfassung

Mit Phosphatglasdosimetern wird die akkumulierte Dosis in der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe gemessen.

Die bisher nach halbjähriger Exposition an 100 Meßstellen nicht am Geländeerand gewonnenen Dosiswerte zeigen, daß außer vereinzelten Erhöhungen der natürlichen Dosis durch ortsfeste Strahlenquellen im Zentrum kein genereller Einfluß der kerntechnischen Anlagen festgestellt werden kann.

Die mittlere Jahresdosis ergibt sich zu 60 mR. Die Fehlerbetrachtung zeigt, daß bei einjähriger Exposition eine örtliche Erhöhung der akkumulierten Dosis um 20 % ausreicht, um das Vorhandensein nichtnatürlicher Strahlenquellen erkennen zu lassen.

Die Messungen werden mit erweitertem Meßstellennetz fortgesetzt.

## 1. Einleitung

Eine wesentliche Aufgabe der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen ist die Erfassung der örtlichen Verteilung des natürlichen oder künstlichen Strahlungsfeldes im Überwachungsbereich. Wegen der Größe dieses Gebietes (für das Kernforschungszentrum Karlsruhe ist das eine Fläche von rund  $300 \text{ km}^2$ ), war man bisher auf die Ergebnisse von Dosisleistungsmessungen an einigen wenigen Punkten angewiesen. Bedingt durch den erheblichen Aufwand an Geräten, Wartung und Kosten, z.B. beim Einsatz von Ionisationskammern und Zählrohren, blieb die Zahl der Meßstellen so klein, daß die daraus gewonnenen Ergebnisse nur stichprobenartigen Charakter haben konnten.

Akkumulierende Dosimeter besitzen dagegen eine Reihe von Vorzügen, die sie für den praktischen Einsatz zur Umgebungsüberwachung besonders empfehlen: Sie sind klein, leicht, billig und wartungsfrei. Für die Meßstelle braucht man keine Stromversorgung und nur wenig Platz. Die Errichtung oder Verlegung einer Meßstelle ist außerordentlich einfach. Insbesondere die inzwischen zur technischen Reife gelangten Phosphatglasdosimeter bieten hinsichtlich der Erfassung der akkumulierten Dosis die Möglichkeit, auch große Gebiete mit einem relativ engmaschigen Netz von Meßstellen zu überziehen.

Ein solches dichtes Netz von Beobachtungsstellen gestattet es, für ein bestimmtes Gebiet eine Karte der örtlichen Verteilung der Dosisbelastung aufzunehmen, die zusätzliche Daten über den Einfluß von Bodenbeschaffenheit, Bebauung, Waldbestand u.ä. auf die örtlichen Schwankungen des Strahlungspiegels zu liefern verspricht. Ein späterer Vergleich mit der unmittelbar am Menschen gemessenen Dosis würde möglicherweise gestatten, den Einfluß des Aufenthaltes in Gebäuden auf die Strahlenbelastung, der bisher in seiner zeitlichen Mittelung nur unter vielen Annahmen geschätzt werden konnte, ebenfalls erstmalig aufgrund von Meßwerten zu bestimmen.

Im Nahbereich des Kernforschungszentrums Karlsruhe soll auch versucht werden, mögliche zusätzliche Dosiserhöhungen, z.B. durch Einstrahlung aus der Argon-41-Wolke aus dem Abluftkamin des FR 2, zu messen. Bei unfallbedingtem, unkontrolliertem Freiwerden von radioaktiven Stoffen kann ein solches Dosimeternetz außerdem ein wichtiges Hilfsmittel zu einer ersten Dosisabschätzung für die Bevölkerung bedeuten.

Das Programm dient gleichzeitig dazu, das Verhalten der Glasdosimeter bei langfristigen Expositionen im Freien zu erproben.

## 2. Das Meßstellennetz

### 2.1 Aussehen und Verteilung der Meßstellen

Im Herbst 1965 ist damit begonnen worden, mehrere Hundert Phosphatglasdosimeter in der Umgebung des KFZ Karlsruhe auszulegen.

An den Meßstellen sind jeweils zwei Glasdosimeter zusammen angebracht, um Anhaltspunkte über die Streuung der einzelnen Meßwerte am gleichen Ort zu erhalten. Die Dosimeter sind zum Witterungsschutz paarweise in Plastikbeutel eingeschweißt. Dosimeter und Meßstelle sind mit Nummern und Farbkennzeichnungen versehen und werden karteimäßig erfaßt.

Die Dosimeterbeutel sind an natürlichen Trägern, wie z.B. Bäumen, oder an der Spitze von 3,5 m hohen Dreibeinen aus Holzplatten aufgehängt (Abb. 1 und 2). Die Dreibeine sind mittels Zelthäringen am Boden befestigt.

Der Aufbau des zur Zeit vorhandenen Meßstellennetzes, das aus insgesamt 208 Meßstellen besteht, war Ende Juli 1966 abgeschlossen. Das Gesamtnetz gliedert sich in zwei Teile:

- Nahbereich mit 100 Meßstellen entlang der Geländegrenze des KFZ Karlsruhe (Abb. 3)
- Konzentrische Ringe um das KFZ Karlsruhe (Abluftkamin des FR 2 als Mittelpunkt) mit zusammen 108 Meßstellen. Die Fixierung der Meßstellen durch Polarkoordinaten erleichtert die Auswertung (Abb. 4).

Einzelheiten zur Planimetrie der Meßstellenverteilung können Tab. 1 entnommen werden.



Abb. 1 : Plastikbeutel (6 x 10 cm<sup>2</sup>) mit  
Glasdosimeterpaar

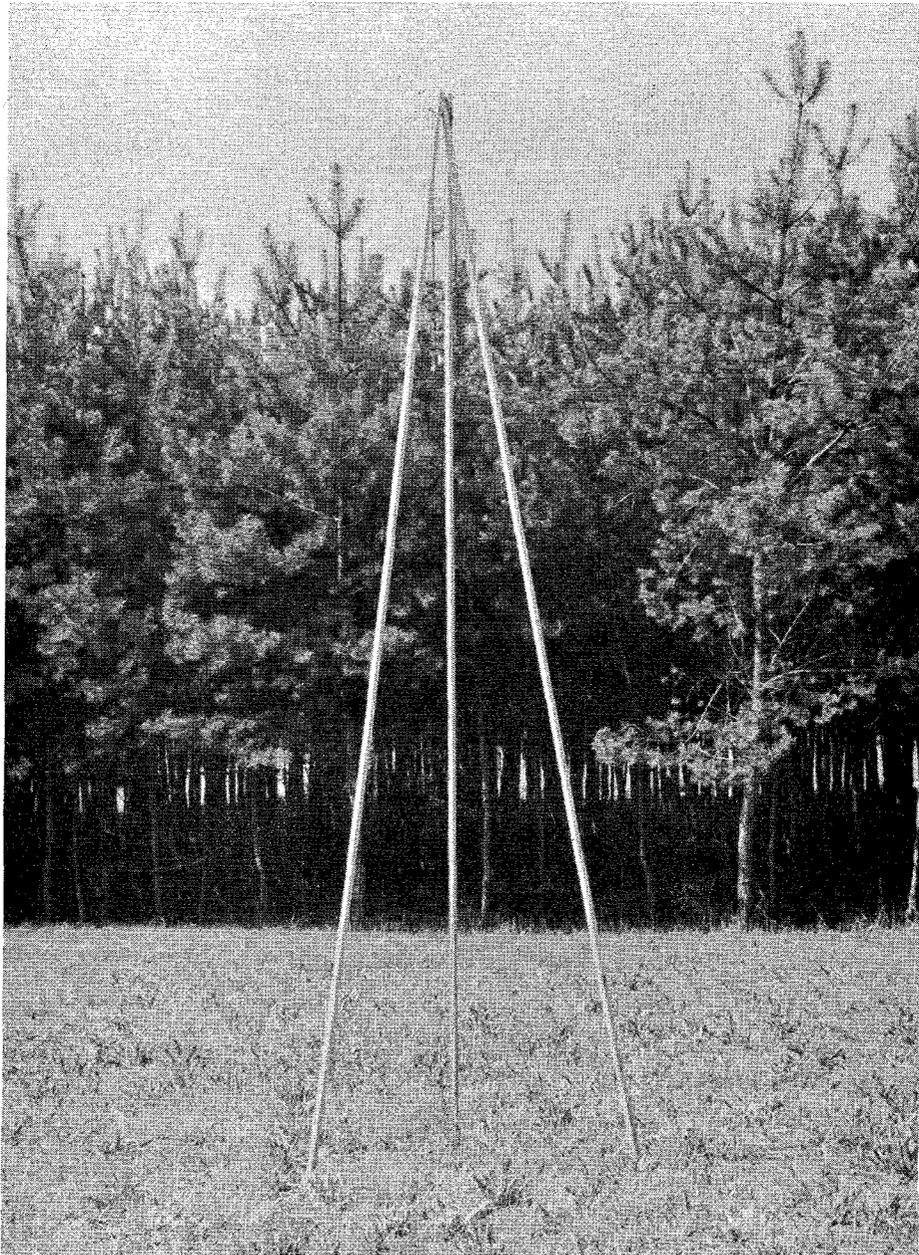
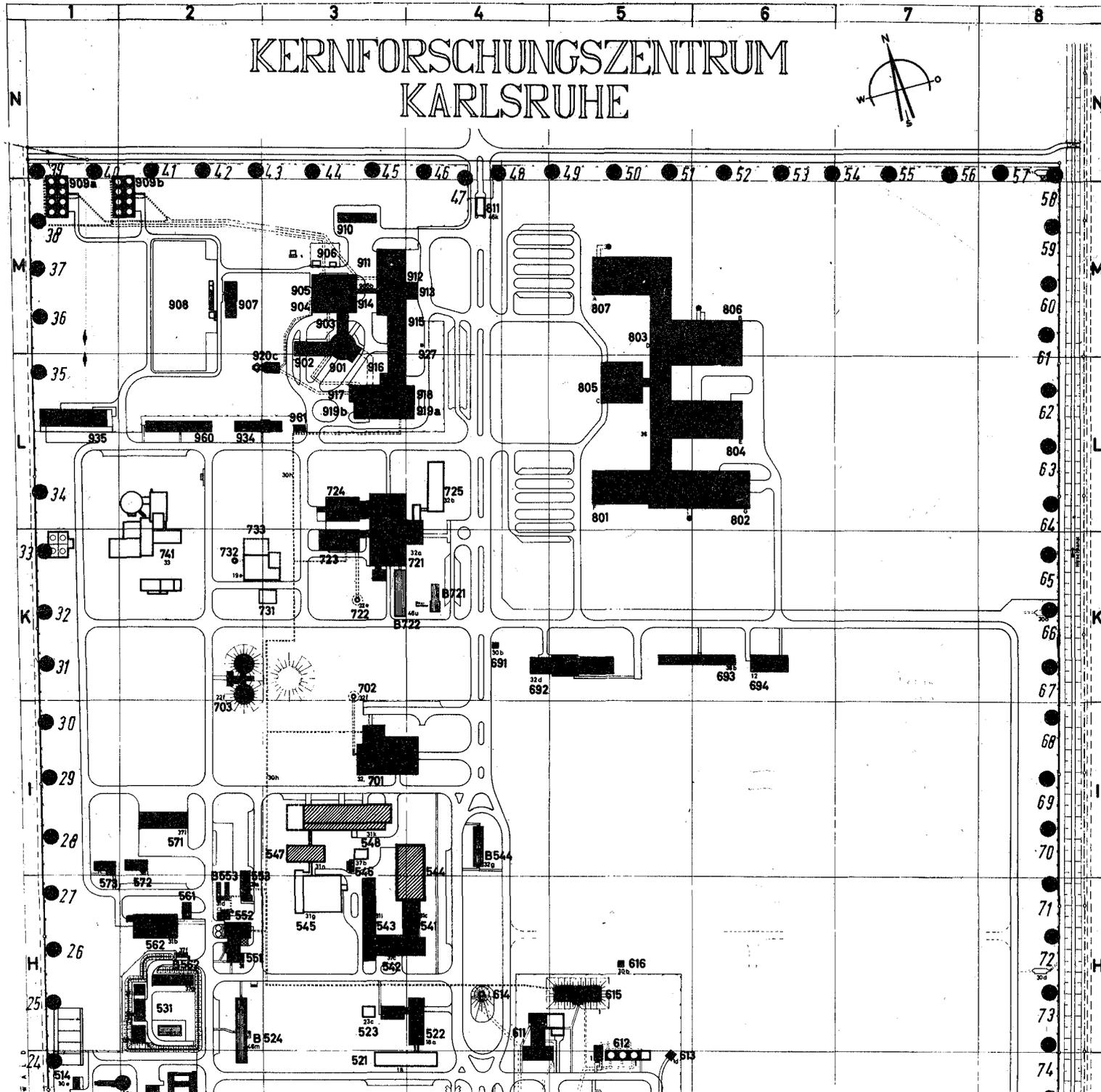
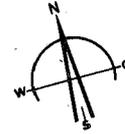
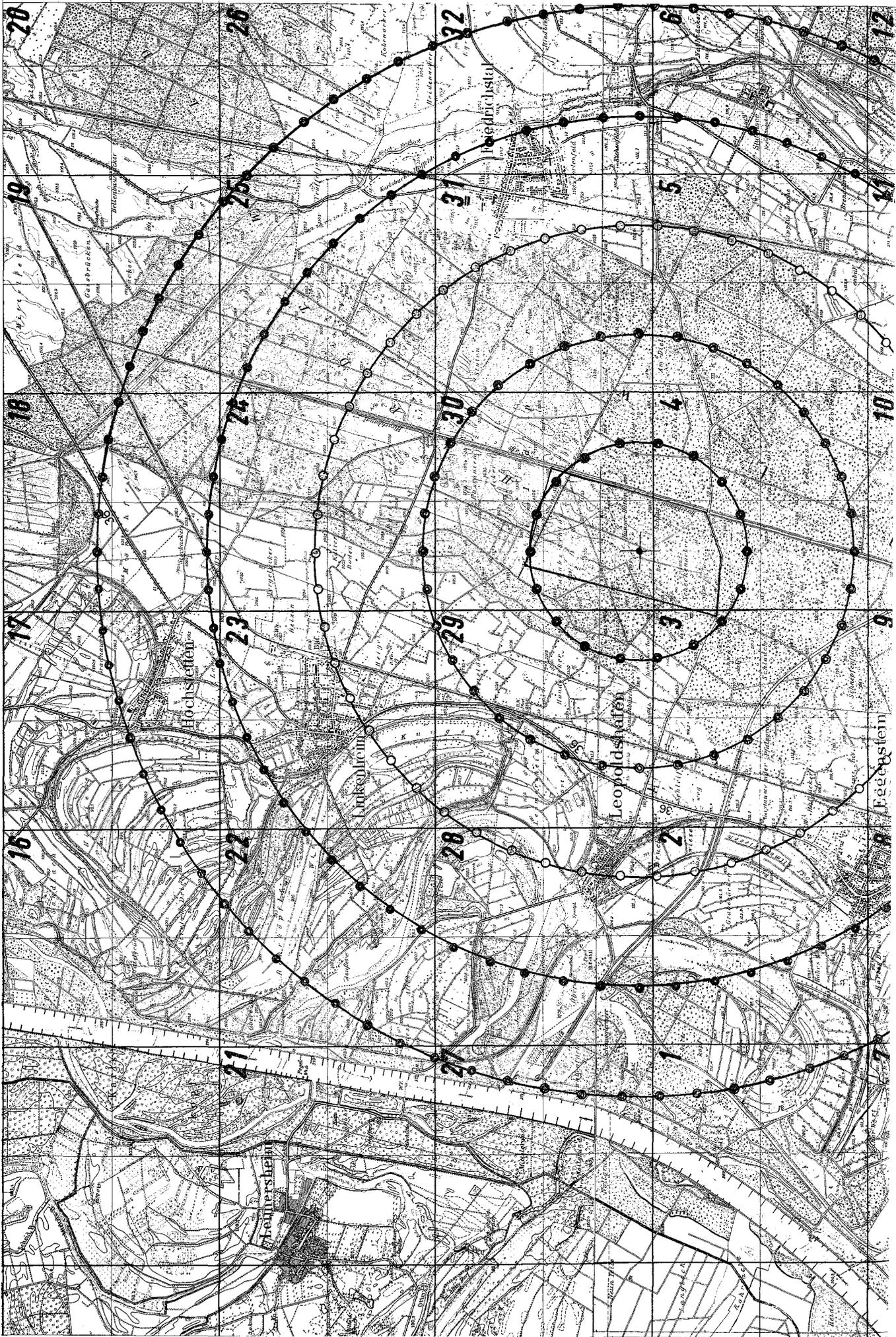


Abb. 2 : Dreibein aus Holzlatten zur Aufhängung der Glasdosimeter bei Fehlen natürlicher Träger

# KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE







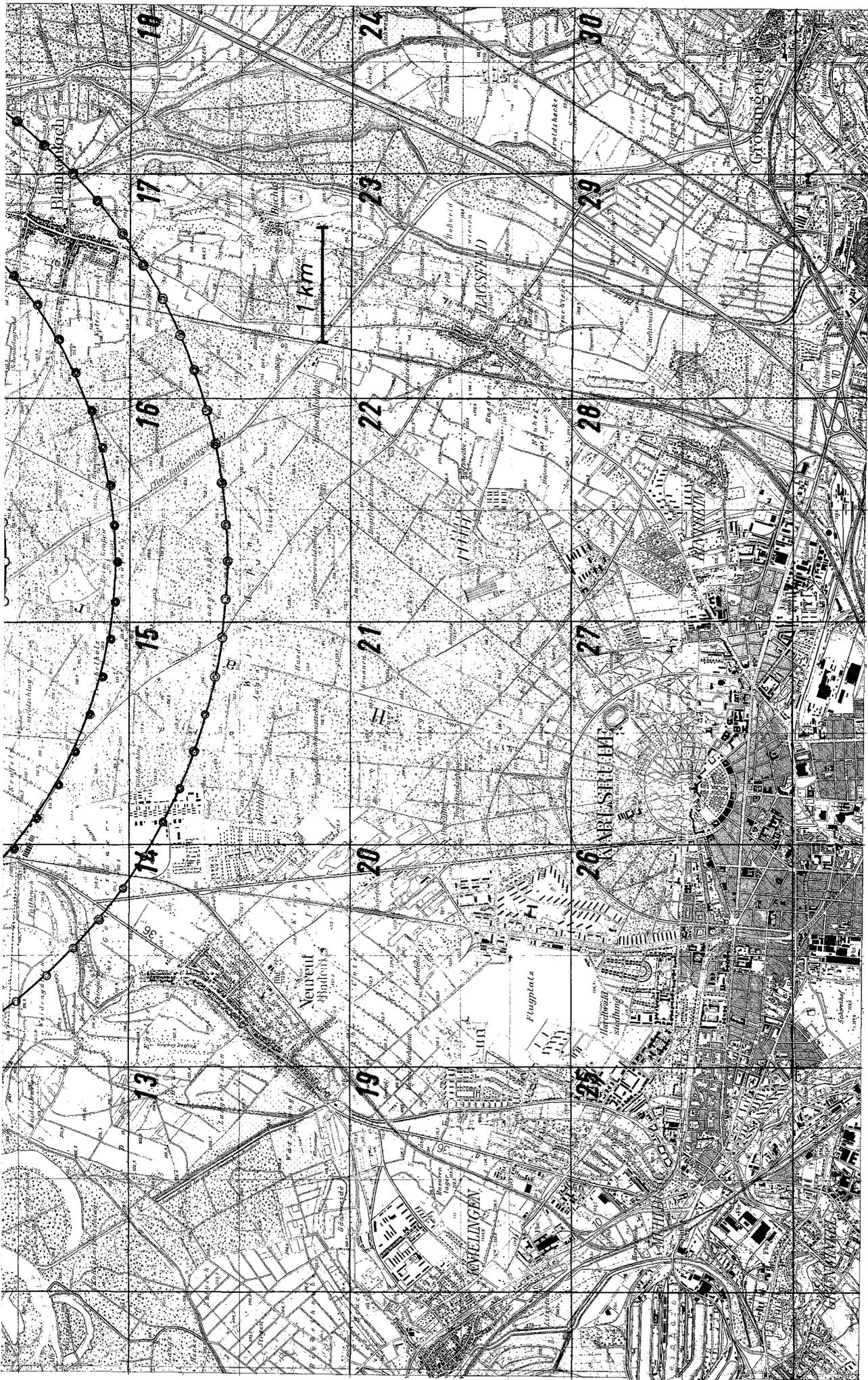


Abb. 4 : Glasdosimeterstellen im Überwachungsbereich des Kfz Karlsruhe (nähere Angaben siehe Tab. 1b)

Tab. 1 a

Meßstellen entlang der Geländegrenze (s. Abb. 3)	
Zahl der Meßstellen:	100
Abstand benachbarter Meßstellen:	50 m
Standortungenauigkeit:	$\pm 5$ m
Aufhangungsart:	Dreibein Höhe 3,5 m

Tab. 1 b

Meßstellen in der Umgebung, angeordnet in konzentrischen Ringen um den Ab- luftkamin des Reaktors FR 2 (s. Abb. 4)					
	<u>1. Ring</u>	<u>2. Ring</u>	<u>3. Ring</u>	<u>4. Ring</u> <sup>+) </sup>	<u>5. Ring</u> <sup>+) </sup>
Farbkennzeichnung	rot	blau	gelb	braun	grün
Ringradius $r_n = nr_1$	1 km	2 km	3 km	4 km	5 km
Ringumfang $U_n = 2\pi nr_1$	6,3 km	12,6 km	18,8 km	25,1 km	31,6 km
Zahl der Meßstellen $N_n = nN_1$	18	36	54	72	90
Winkel zw. benachbarten Meßstellen $\alpha_n = \frac{360^\circ}{N_n}$	20°	10°	6,66°	5°	4°
Bogenlänge zw. benach- barten Meßstellen	$b = \frac{U_n}{N_n} = \text{const.} = 349 \text{ m}$				
Angenommene Standort- ungenauigkeit	$\Delta b_n = \pm 50 \text{ m} : \frac{\Delta b}{b} 100 = 14 \%$				
Aufhangungsart	natürliche Träger (z.B. Bäume)				

+ ) geplant

Tab. 1 : Planimetrische Daten zur Verteilung der Glas-  
dosimetermeßstellen in der Umgebung des Kern-  
forschungszentrums Karlsruhe

2.2 Meßstellenbetreuung

Von den 108 Meßstellen der Ringe 1, 2 und 3 entfallen (Tab. 2)

64 % auf Waldgebiet  
 28,5 % auf freies Feld  
 7,5 % auf Wohngebiet

Z a h l   d e r   M e ß s t e l l e n				
Zone	insgesamt	im Wald	auf freiem Feld	im Wohngebiet
Nahzone	100	entlang der Geländegrenzen des KFZ		
1. Ring	18	17	1	-
2. Ring	36	25	11	-
3. Ring	54	27	19	8
Ringe 1 - 3	108 ≙ 100 %	69 64 %	31 28,5 %	8 7,5 %

Tab. 2 : Verteilung der Meßstellen auf verschiedene Geländeformen

Für die im Waldgebiet befindlichen Meßstellen spielen Zugänglichkeit und Wiederauffindbarkeit eine wichtige Rolle. Da das Meßstellennetz für Kontrollgänge zu Fuß zu weitläufig ist, muß gewährleistet sein, daß man auch mit Fahrzeugen, zumindest in unmittelbare Nähe der Meßstellen, gelangen kann. Sondergenehmigungen für die Meßfahrzeuge der ASD/M zur Benutzung der Waldwege wurden vom zuständigen Forstamt erteilt.

Zur Sicherung der Wiederauffindbarkeit der Meßstellen steht ein kompletter Kartensatz des gesamten Überwachungsgebietes im Maßstab 1 : 5000 (Katasterplankarte und Deutsche Grundkarte) zur Verfügung. Die klare Geometrie der ringförmigen Anordnung und die Konstanz der Dogenlängen zwischen benachbarten Meßstellen von 350 m erleichtern das Wiederauffinden erheblich.

Außer der halbjährlichen Aktion des Einsammelns aller Dosimeter und des Wiederaufhängens nach erfolgter Ausmessung, werden zwischenzeitlich wöchentlich Kontrollfahrten durchgeführt.

Diese Kontrollfahrten dienen zwei Zwecken:

- Festzustellen, ob die Dosimeter noch vorhanden sind,
- zu prüfen, ob Aufhängung und Witterungsschutz noch intakt sind.

Daß mit einer gewissen Verlustrate (Tab. 3) zu rechnen ist, erklärt sich aus der Tatsache, daß der Verwendungszweck der Dosimeter für Laien kaum erkennbar ist, wodurch das Interesse von Spaziergängern offenbar geweckt wird. Abhandengekommene Dosimeter sind jeweils sofort nach Entdeckung des Verlusts durch neue ersetzt worden.

Zone	Beobachtungszeitraum bis 31. 12. 66	Verlustrate
Nahzone	14 Monate	4
1. Ring	5,5 Monate	1
2. Ring	5,5 Monate	8
3. Ring	3 Monate	7
		16 = 15 %

Tab. 3 : Verlustrate

### 2.3 Behördliche Genehmigungen

Für den Aufbau des Meßstellennetzes außerhalb der Geländegrenzen des Kernforschungszentrums waren eine Reihe von Genehmigungen erforderlich.

In einer vom Landrat einberufenen Besprechung mit den Bürgermeistern der betroffenen Ortschaften wurde die Zustimmung der Gemeinden erwirkt. Dabei wurde vereinbart, daß die Dosimeter soweit irgend möglich an natürlichen Trägern aufgehängt werden. Die Aufstellung von Dreibeinen sollte auf ein Minimum beschränkt bleiben, da dadurch Fragen des Landschaftsschutzes berührt werden.

Im Juli 1966 erhielten wir die Genehmigung der Forstdirektion Nordbaden und des Staatlichen Forstamtes Karlsruhe zur Aushängung der Dosimeter im betroffenen Staatswalddistrikt des Hardtwaldes.

Soweit Privatgelände vom Meßstellenplan betroffen wurde, waren Einzelabsprachen mit den jeweiligen Grundstücksbesitzern notwendig. Vor allem Dank der profunden Ortskenntnis der Mitarbeiter unserer Arbeitsgruppe Umgebungsüberwachung, deren Wohnsitze zum Teil in dem interessierenden Gebiet liegen, war ein reibungsloser und rascher Aufbau des Meßstellennetzes möglich.

### 3. Das Meßprogramm

Nachdem am 19. Oktober 1965 an 100 Stellen entlang der Geländegrenze 100 Glasdosimeter paarweise ausgehängt worden waren, erfolgte im Labor für Personendosimetrie am 31. Januar 1966 die erste Ausmessung.

Dieser als Voruntersuchung anzusehende erste Abschnitt des Programmes mit einer Expositionszeit von 104 Tagen ergab für das weitere Programm insbesondere zwei Konsequenzen:

- Um Fehlereinflüsse bei der Auswertung von einer evtl. tatsächlichen Dosiserhöhung am Meßort besser unterscheiden zu können, ist es notwendig, eine Meßwertstreuung am Ort direkt zu kontrollieren. Deshalb wurde die Zahl der Meßstellen halbiert und an jeder zweiten Meßstelle am 10. Februar 1966 ein Dosimeterpaar ausgehängt<sup>+</sup>).
- Die kugelförmigen Kapseln mit dem Glasdosimeter waren ursprünglich ohne jeden weiteren Schutz der Witterung ausgesetzt worden. Sturm, Feuchtigkeit und Frost in den Monaten November bis Januar zögten bald unerfreuliche Auswirkungen. Die Verleimung der Halbkugelschalen wurden zum Teil gelöst, Feuchtigkeit konnte bis ins Innere der Kapsel zum Glaskörper vordringen. Im Sturm löste sich in einigen Fällen die Halteschraube am oberen Kapselteil. Dadurch abgefallene Dosimeter blieben oft mehrere Tage am Roden liegen, bis sie beim nächsten Kontrollgang gefunden wurden.

---

<sup>+</sup>) Eine ausreichende Anzahl von Reservekapseln zur Bestückung der 100 Meßstellen mit Paaren war zu diesem Zeitpunkt noch nicht vorhanden.

Der Einfluß solcher Ereignisse auf den Dosismesswert kann nicht definiert werden. Aufgrund dieser Erfahrungen wurden, wie bereits erwähnt, alle Dosimeterpaare in  $6 \times 10 \text{ cm}^2$  große Plastikbeutel eingeschweißt, die nach den weiteren Erfahrungen einen zuverlässigen Schutz gegen die geschilderten Wettereinflüsse darstellen.

Der zweite Abschnitt des Meßprogramms, während dem 50 mit Dosimeterpaaren bestückte Meßstellen in gleichen Abständen von 100 m vorhanden waren, lieferte erste brauchbare Ergebnisse. Die Häufigkeitsverteilung der Dosisdifferenzen ergab einen ersten Hinweis auf die Größenordnung der Meßwertstreuung am Ort (Abb. 5).

Die Akkumulationszeit des zweiten Abschnittes betrug jedoch nur 81 Tage. An den Meßwerten zeigte sich, daß selbst der in der Nahzone des Kernforschungszentrums vorhandene Strahlungspegel nicht ausreicht, um in dieser Zeit einen mittleren Dosiswert oder gar eine räumliche Dosisverteilung ausreichend zuverlässig zu bestimmen.

Als sinnvolle Auswertefrequenz wurde deshalb für den weiteren Verlauf des langfristigen Programmes eine Akkumulationszeit von 6 Monaten festgesetzt.

Nachdem eine ausreichende Menge der Dosimeter und Kugelkapseln zur Verfügung standen, konnten Anfang Mai 1966 alle 100 Meßstellen an der Geländegrenze des Kernforschungszentrums mit Dosimeterpaaren bestückt werden. Von diesem Zeitpunkt an ist die Dauer eines jeden Programmabschnittes mit der festgesetzten Akkumulationszeit von 6 Monaten identisch. Im November 1966 konnte deshalb mit der Auswertung der Ergebnisse des dritten Programmabschnittes für die 100 Meßstellen der Nahzone begonnen werden. Drei Dosimeterpaare gingen während der Expositionszeit verloren, weshalb bei der Auswertung nur 97 Paare zur Verfügung standen.

Von den in konzentrischen Ringen um das Kernforschungszentrum angeordneten Meßstellen der Umgebung wurden im Juli 1966 54 Meßstellen (Ring 1 und 2) und im Oktober 1966 weitere 54 Meßstellen (Ring 3) errichtet. Eine Erweiterung dieses äußeren Meßstellennetzes unter besonderer Berücksichtigung der Wohngebiete ist vorgesehen.

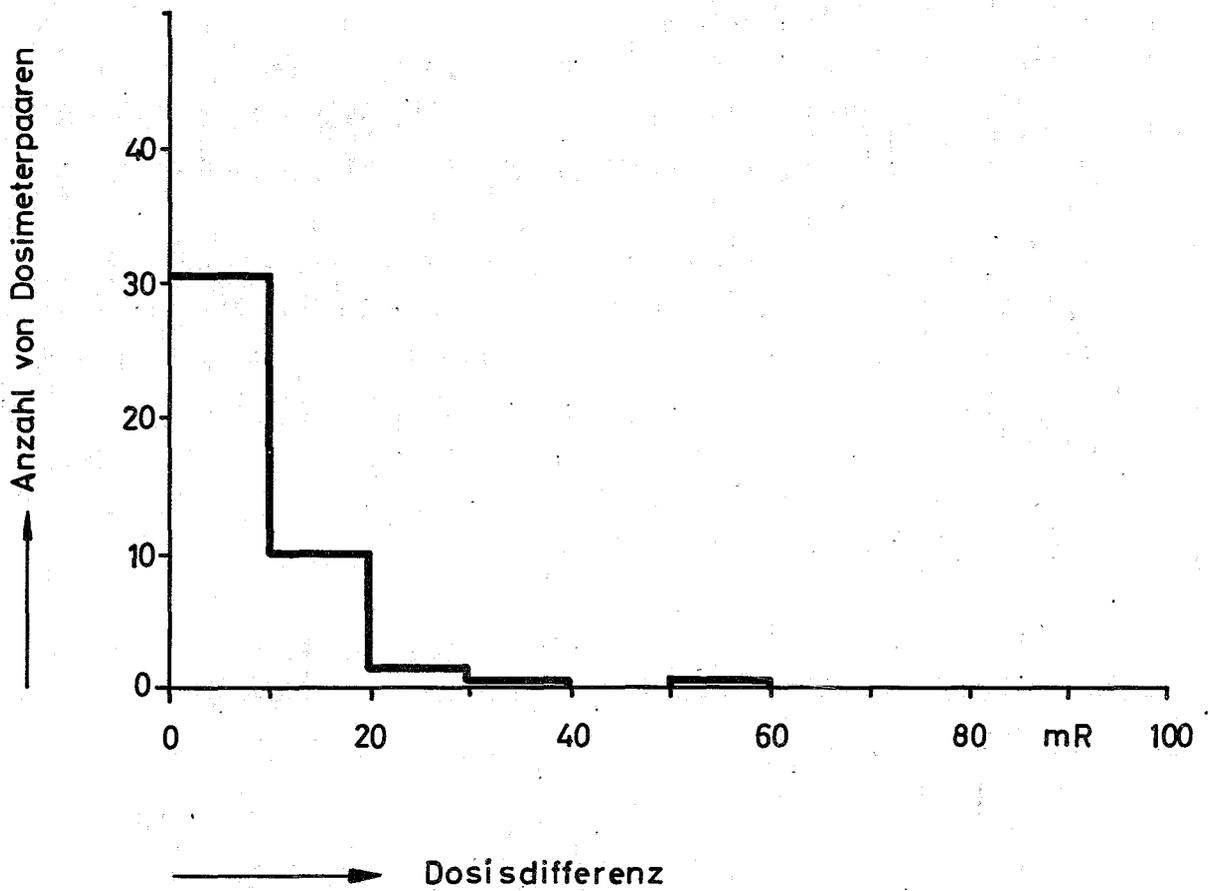


Abb. 5 : Meßwertdifferenz von je 2 Gläsern, die in der Kugelkapselung an demselben Ort im Freien innerhalb eines Zeitraumes von 3 Monaten exponiert wurden (insges. 50 Paare)

#### 4. Beschreibung des verwendeten Dosimeters

##### 4.1 Eignung des Phosphatglasdosimeters

Für eine Langzeitdosisakkumulierung werden an das verwendete Dosimeter folgende Forderungen gestellt:

- Dosisrichtige Aufsummierung von Bestrahlungsdosen in beliebiger zeitlicher Verteilung mit der Möglichkeit von Zwischenablesungen
- Keine Meßwertänderung durch Umwelteinflüsse wie Temperaturänderung, Luftfeuchtigkeit, UV-Lichteinwirkung
- Nahezu verlustfreie Meßwertspeicherung über einige Jahre
- Nachweis kleiner Dosen (etwa oberhalb 10 mR) mit ausreichender Meßgenauigkeit
- Weitgehende Energie- und Richtungsunabhängigkeit der Dosisanzeige.

Von den zur Wahl stehenden Dosimeterarten sind Filmdosimeter und Ionisationskammern teils wegen unzureichender Meßwertspeicherung, teils wegen Anfälligkeit gegenüber Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüssen oder wegen der nur einmaligen Verwendbarkeit des Dosimeters weniger geeignet. Thermolumineszenzdosimeter bieten zum heutigen Zeitpunkt bei der Messung kleiner Dosen über längere Bestrahlungszeiten noch keine ausreichende Meßgenauigkeit. Sie gestattet ebenfalls keine beliebige Mehrfachauswertung.

Für die Bestimmung der akkumulierten Dosis erscheinen daher Phosphatgläser am aussichtsreichsten, zumal bei diesen Dosimetern die Eigenschaften der Langzeitspeicherung, das Temperaturverhalten und die routinemäßige Auswertung in großem Umfang erprobt sind.

##### 4.2 Eigenschaften des Phosphatglasdosimeters

Für den beschriebenen Großversuch wurden Yokota-Gläser der Größe  $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$  in einer speziellen Kugelkapselung verwendet. Die Energie- und Richtungsabhängigkeit der Dosisanzeige ist hier im Vergleich zu anderen bekannten Kapselungen und Glasdimensionen im Energiebereich oberhalb 45 keV bis 1,2 MeV am besten kompensiert (der maximal mögliche Fehlereinfluß liegt innerhalb  $\pm 20 \%$ ) (1).

Für eine aus dem Gesamtraum gleichmäßig einfallende Strahlung, wie sie beim Einsatz im Freien angenähert zu erwarten ist, beträgt die Energieabhängigkeit der Dosisanzeige dieses Dosimeters  $\pm 8 \%$  (2).

In der benutzten Kugelkapselung ist das Glas bereits gegen mechanische Beschädigungen und gegen Verschmutzung geschützt sowie gegen UV-Strahlung lichtdicht verpackt. Um auch den Einfluß von Feuchtigkeit gering zu halten, wurden die Dosimeter außerdem in eine Polyäthylenfolie eingeschweißt.

Temperaturänderungen während der Meßwertregistrierung wirken sich bei diesen Dosimetern schon von Haus aus nur in geringem Maße aus, so daß sich besondere Maßnahmen erübrigen. Im Temperaturbereich 0 - 40°C ist aufgrund experimenteller Messungen beim Yokota-Glas mit einem Temperatureinfluß von ca.  $\pm 3\%$  zu rechnen (1).

Experimentelle Ergebnisse zeigen ferner, daß eine Dauerbestrahlung der Gläser mit wöchentlicher Auswertung innerhalb eines Zeitraumes von 1 Jahr zu keiner unterschiedlichen mittleren Dosisempfindlichkeit führt (3). Auch nach einmaliger Bestrahlung des Glases wurde, trotz zahlreicher Zwischenablesungen bis zu 3 Jahren nach Bestrahlung, eine relativ konstante Meßwertanzeige beobachtet, deren Änderung selbst in ungünstigen Fällen weniger als -10 % betrug (4).

Somit ist auch unter den hier vorliegenden Bedingungen einer Langzeitstrahlenwirkung bei extremen Klimaeinflüssen im Freien eine dosisrichtige Aufsummierung und Meßwertspeicherung zu erwarten.

#### 4.3 Das Meßverfahren

Die Phosphatgläser wurden in einem Toshiba-Auswertegerät FGD-3 B ausgemessen. Zur Kalibrierung des Auswertegerätes wurden samariumaktivierte Referenzgläser mit verschiedenem Samariumgehalt verwendet, die eine unterschiedliche Bestrahlungsdosis simulieren. Eine solche Kalibrierung mit einem Referenzstandard wird während einer Meßreihe von Zeit zu Zeit wiederholt.

Vor der Messung müssen die Gläser sorgfältig gereinigt werden. Geringe Schmutz- bzw. Fettrückstände (Fingerabdrücke) an den Glasoberflächen oder Rückstände des Waschmittels können zur Fluoreszenz angeregt werden und Dosen bis zu einigen 100 mR vortäuschen.

Für das Ablösen der Verschmutzung von der Oberfläche mit fettlösenden Substanzen, für das Abspülen des Waschmittels und für das rückstandsfreie Trocknen einer Vielzahl von Gläsern wurde folgender Standardwaschvorgang angewendet (5):

- 2 min Ultraschallbehandlung mit 1 %iger Lösung von Detergentien
- 2 min Spülen in fließendem Wasser
- 1/2 min Benetzen in destilliertem Wasser
- 1/2 min Benetzen in Alkohol und anschließendes Trocknen der Gläser in staubfreier Umgebung.

Es wurden Waschgestelle für je 100 Gläser benutzt. Es wurde darauf geachtet, daß die Gläser einheitlich in derselben Aufstellung getrocknet wurden, ohne daß die zur Auswertung benötigten Glasoberflächen abgedeckt waren. Die Kennzeichnung des Glases erfolgte an der nichtpolierten Seitenfläche in Übereinstimmung mit der Kennzeichnung der Dosimeterkapselung.

## 5. Methode der Dosisbestimmung an der unteren Nachweisgrenze

### 5.1 Die untere Dosisnachweisgrenze

Die untere Nachweisgrenze des Dosisbereiches wird durch die schon vor der Bestrahlung vorhandene Vordosis (pre-dose) bestimmt, welche von dem Meßwert nach der Bestrahlung (post-dose) subtrahiert werden muß. Abb. 6 gibt die mit dem  $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$  Yokota-Glas gemessene Fluoreszenzintensität vor und nach Abzug der Vordosis in Abhängigkeit von der Bestrahlungsdosis für kleine Dosen wieder.

Als untere Nachweisgrenze wird für eine Routineauswertung eine Dosis von etwa 40 mR angegeben (1).

Die beschränkenden Meßfehler sind in diesem Falle hauptsächlich auf ein ungenügendes Waschen oder auf Rückstände des Waschmittels auf der Glasoberfläche zurückzuführen. Bei einer routinemäßigen Auswertung einer Vielzahl von Gläsern ist es andererseits nicht möglich, jedes Glas individuell zu waschen und die Sauberkeit einer jeden Oberfläche zu kontrollieren.

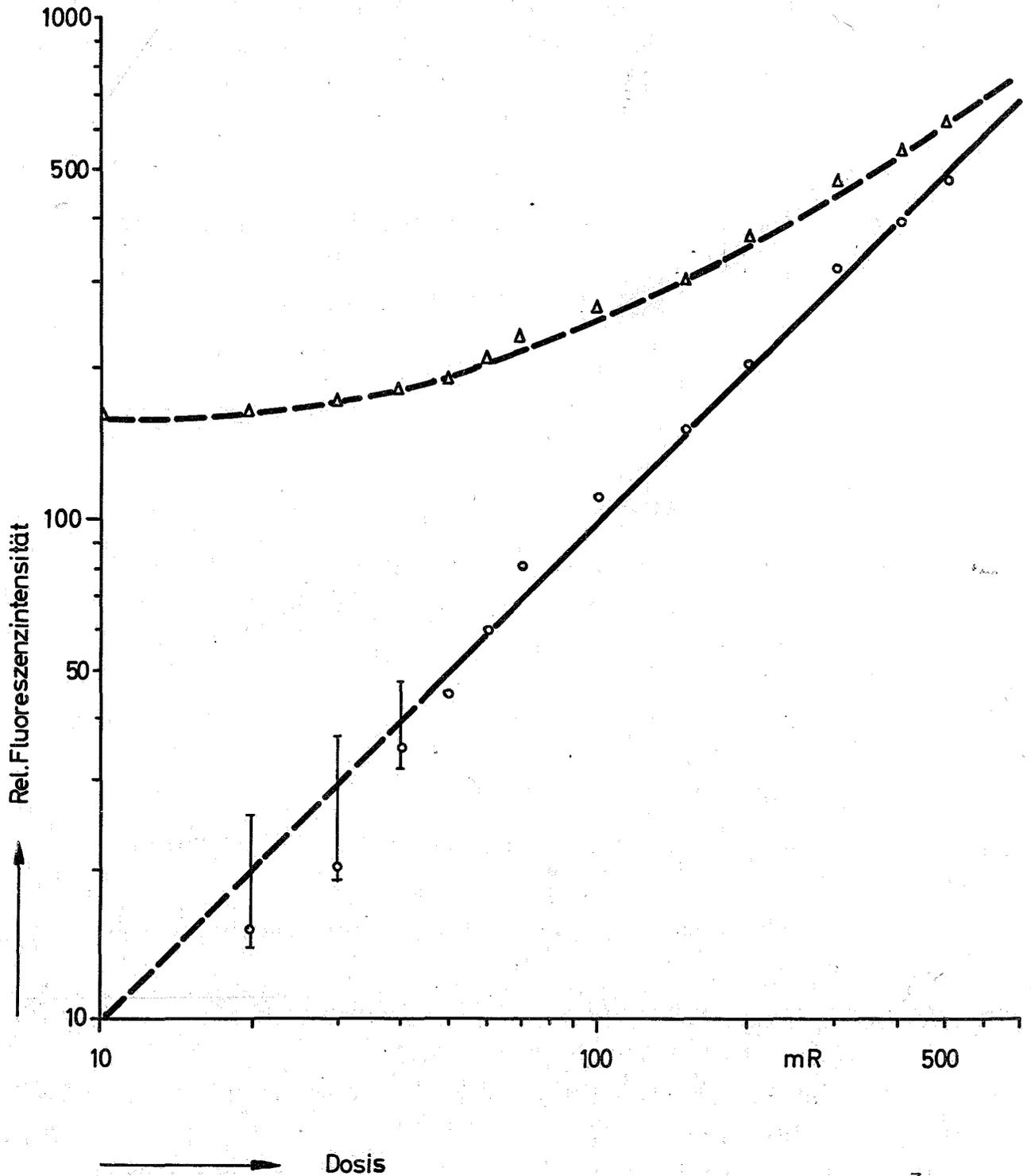


Abb. 6 : Die Fluoreszenzintensität eines YokotaGlases ( $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$ ) in Abhängigkeit von der Dosis im Dosisbereich unter 1 R

△-△-△-△-△-△ Meßwert mit Vordosis

o-o-o-o-o-o-o-o-o Meßwert nach Abzug der Vordosis

Unter den Bedingungen einer extrem sorgfältigen Laborausmessung wurden für die Messung kleiner Dosen die in Tab. 4 wiedergegebenen Standardabweichungen gefunden (6), die zeigen, daß auch Dosisbestimmungen von 10 mR und weniger mit genügender Genauigkeit möglich sind.

Es ist jedoch zu erwarten, daß in vorliegendem Sonderfall (Langzeitdosisbestimmung, Routineauswertung, Exposition im Freien) diese Optimalwerte nicht ganz erreicht werden.

Dosis mR	Standardabweichung %
10	4
15	3,5
25	3
50	1,5
> 150	1,0

Tab. 4 : Standardabweichung des Meßwertes eines 8 x 8 x 4,7 mm<sup>3</sup> Yokota-Glases (unter Laborbedingungen)

## 5.2 Fehlereinflüsse

Zur Feststellung und evtl. Herabsetzung der Fehlereinflüsse können unterschieden werden:

- Systematisch einwirkende Fehlereinflüsse: Langzeitinstabilität des Auswertegerätes, Fading
- Statistisch auftretende Fehlereinflüsse: Waschvorgang, kurzzeitige Meßgeräte-Inkonstanz, Subtraktion der Vordosis vom Meßwert
- Nicht statistische Umwelteinflüsse: Einstrahlung aus einzelnen bestimmbareren Strahlenquellen.

Die erwähnten systematischen Fehlereinflüsse werden den Betrag des Meßwertes kaum beeinflussen.

Die statistischen Fehlereinflüsse sind dagegen von Bedeutung; soweit sie sich aus der Meßmethode ergeben, können sie durch spezielle Meßreihen bestimmt werden. Bei manchen Meßaufgaben können sie aber auch direkt aus den anfallenden Meßwerten ermittelt und zur Korrektur benutzt werden.

Beispielsweise läßt sich der Einfluß einer kurzzeitigen Meßgeräteinkonstanz dadurch ermitteln, daß ein und dasselbe Glas unter sonst unveränderten Meßbedingungen mehrere Male ausgemessen wird. Die Verteilung der Meßwerte, die mit demselben Glasdosimeter bei 120 Messungen der Vordosis erhalten wurde, ist in Abb. 7 wiedergegeben. Diese Versuchsreihe zeigt, daß für 89 % der Meßwerte der Fehlereinfluß des benutzten Meßgerätes - abgesehen von einer evtl. erneuten Verschmutzung des Glases während der Meßreihe - innerhalb  $\pm 5$  mR liegt.

Der Fehlereinfluß des Waschvorganges läßt sich aus der Meßwertänderung eines Glases bestimmen, welches nach nochmaligem Waschen erneut ausgemessen wird. Der Betrag der Meßwertänderung kann bei einer Vielzahl von Gläsern bestimmt und die Häufigkeitsverteilung als Maß für die Güte des Waschvorganges angesehen werden. Abb. 8 zeigt die Abweichung der Vordosis von 120 Gläsern nach zweimaligem Waschen und Messen. Dann liegen 88 % aller Meßwerte innerhalb eines Meßfehlers von  $\pm 10$  mR.

Um nun den Gesamtmeßfehler für eine Langzeitexposition abschätzen zu können, bei dem zusätzlich zu den Fehlern beim Waschen und Messen die Substraktion der Vordosis vom Meßwert und die Langzeitinstabilität des Meßgerätes eine Rolle spielen, werden an jedem Meßort zwei gleiche Dosimeter gleichzeitig exponiert. Die Häufigkeitsverteilung der Meßwertdifferenzen der Dosimeterpaare gibt bei einer Vielzahl von Dosimeterpaaren eine statistische Aussage über die Größe des Meßfehlers.

Abb. 9 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Meßwertdifferenzen von 97 Dosimeterpaaren nach sechsmonatiger Exposition. Für die Dosimeter dieser Meßreihe, die gemeinsam innerhalb desselben Zeitraumes mit Bestrahlungsdosen bis zu 180 mR exponiert und danach gleichzeitig ausgemessen wurden, erhalten wir in 82 % der Fälle eine Meßwertdifferenz von kleiner gleich 15 mR.

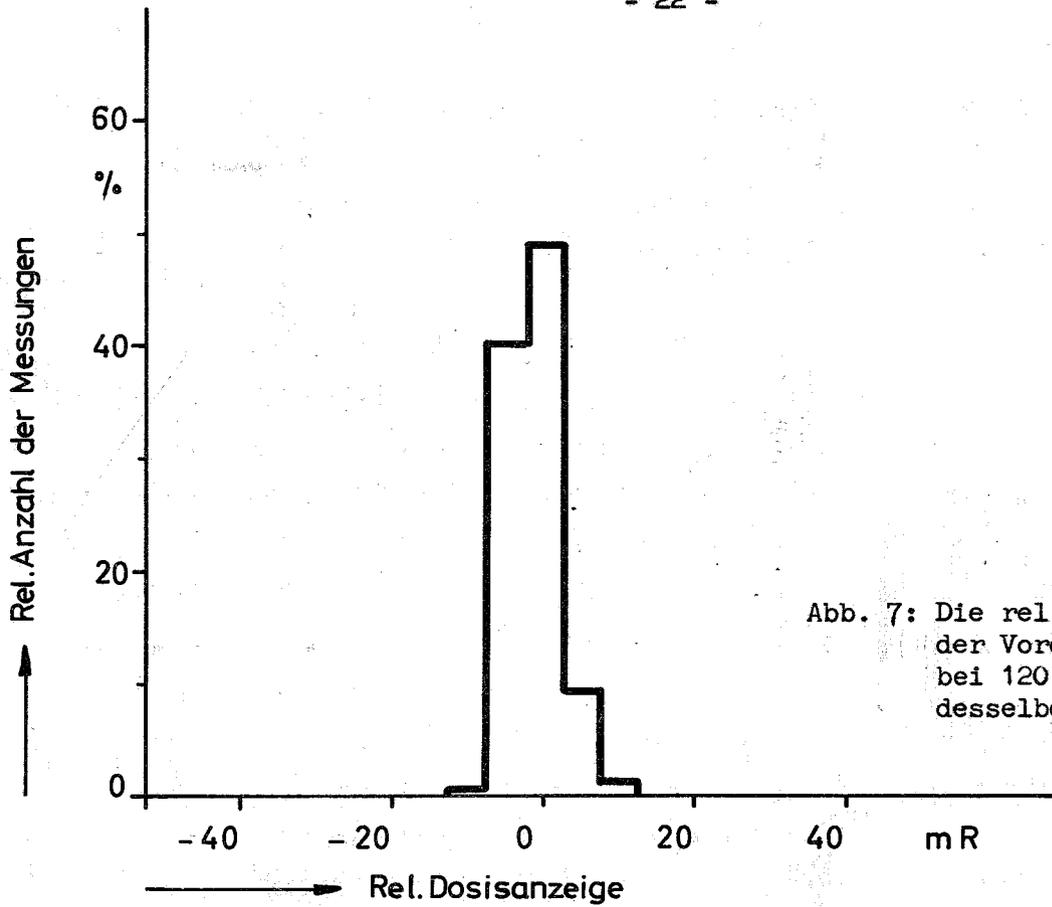


Abb. 7: Die rel. Verteilung der Vordosismeßwerte bei 120 Messungen desselben Glases

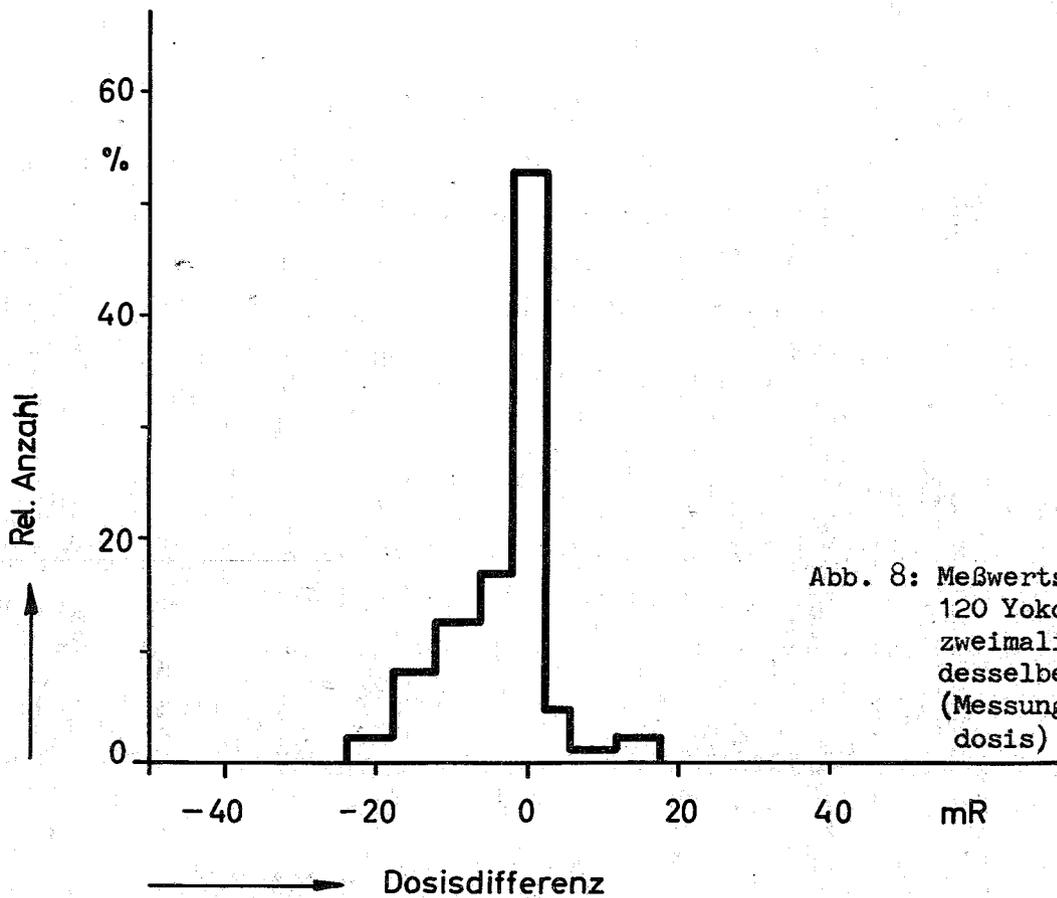


Abb. 8: Meßwertstreuung von 120 Yokota-Gläsern nach zweimaligem Waschen desselben Glases (Messung der Vordosis)

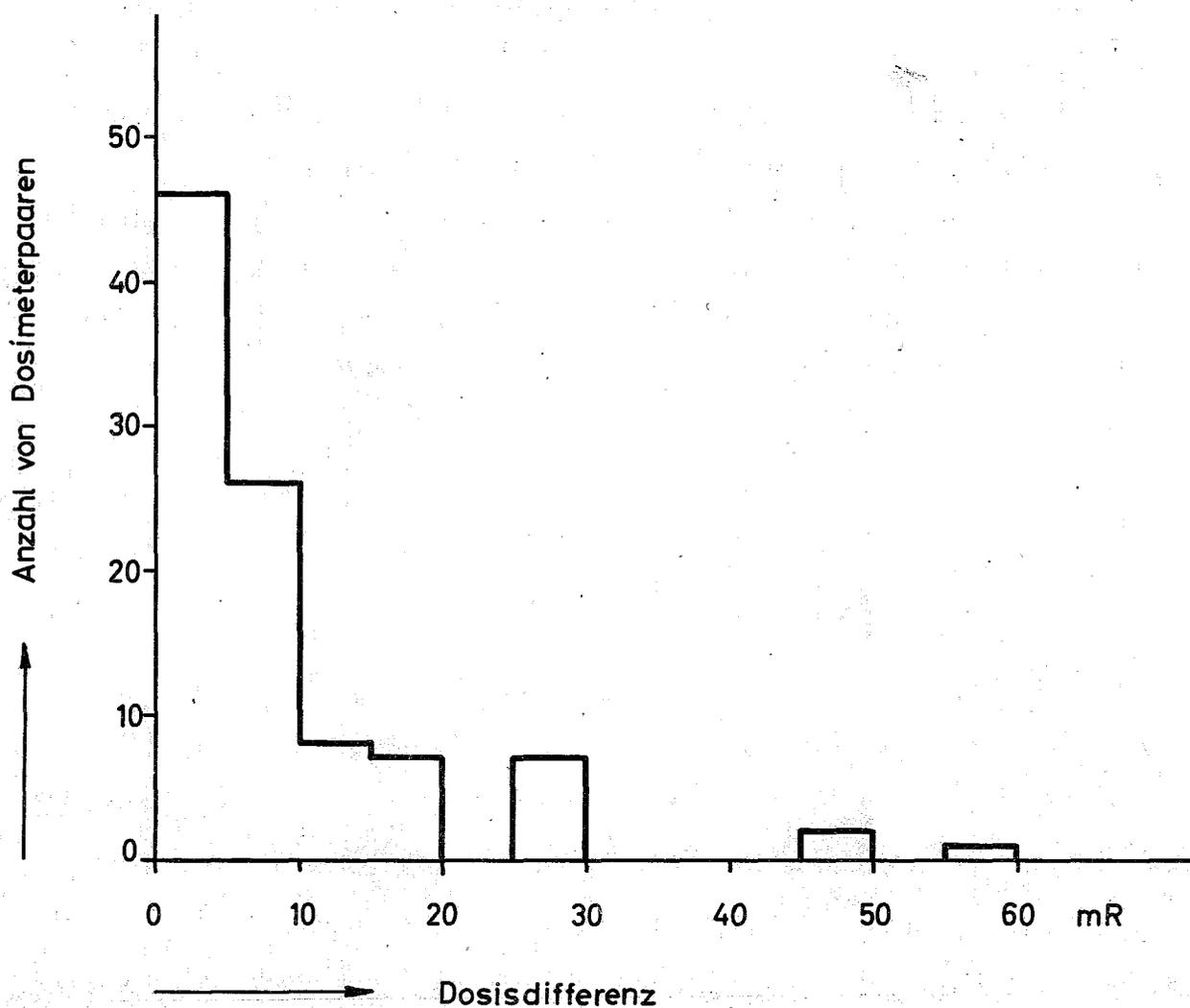


Abb. 9 : Meßwertdifferenz<sup>en</sup> von je 2 Gläsern, die in der Kugelkapselung an demselben Ort im Freien innerhalb eines Zeitraumes von 6 Monaten exponiert wurden (insgesamt 97 Paare)

### 5.3 Methode der Dosisermittlung im Dosisbereich < 40 mR

Um den statistischen Gesamtfehler zu verringern, werden zur Dosisbestimmung im Bereich unter 40 mR Doppel-Dosimeter exponiert und jedes Glas mehrmals ausgemessen.

Im einzelnen wird dabei wie folgt vorgegangen:

- 1) Die Gläser werden zweimal gewaschen und nach jedem Waschen ausgemessen, um den bedeutendsten Meßfehlereinfluß, nämlich den durch den Waschvorgang, zu verringern. Da Rückstände des Waschmittels zu einem größeren Meßwert führen, wird der kleinere der beiden Meßwerte als der wahrscheinlichere Meßwert angenommen.
- 2) Von dem Meßwertpaar des Doppeldosimeters kann in den meisten Fällen der Mittelwert als der wahrscheinlichste Meßwert angenommen werden.
- 3) Ist der Meßwert eines Dosimeters Null, so wird dieser Wert auf eine fehlerhafte Bestimmung der Vordosis zurückgeführt und verworfen, so daß nur der andere Wert des Paares als Dosiswert der Meßstelle verwendet wird. Dies war bei den Meßstellen Nr. 52, 61, 71, 81 und 100 der Fall.

## 6. Meßergebnisse

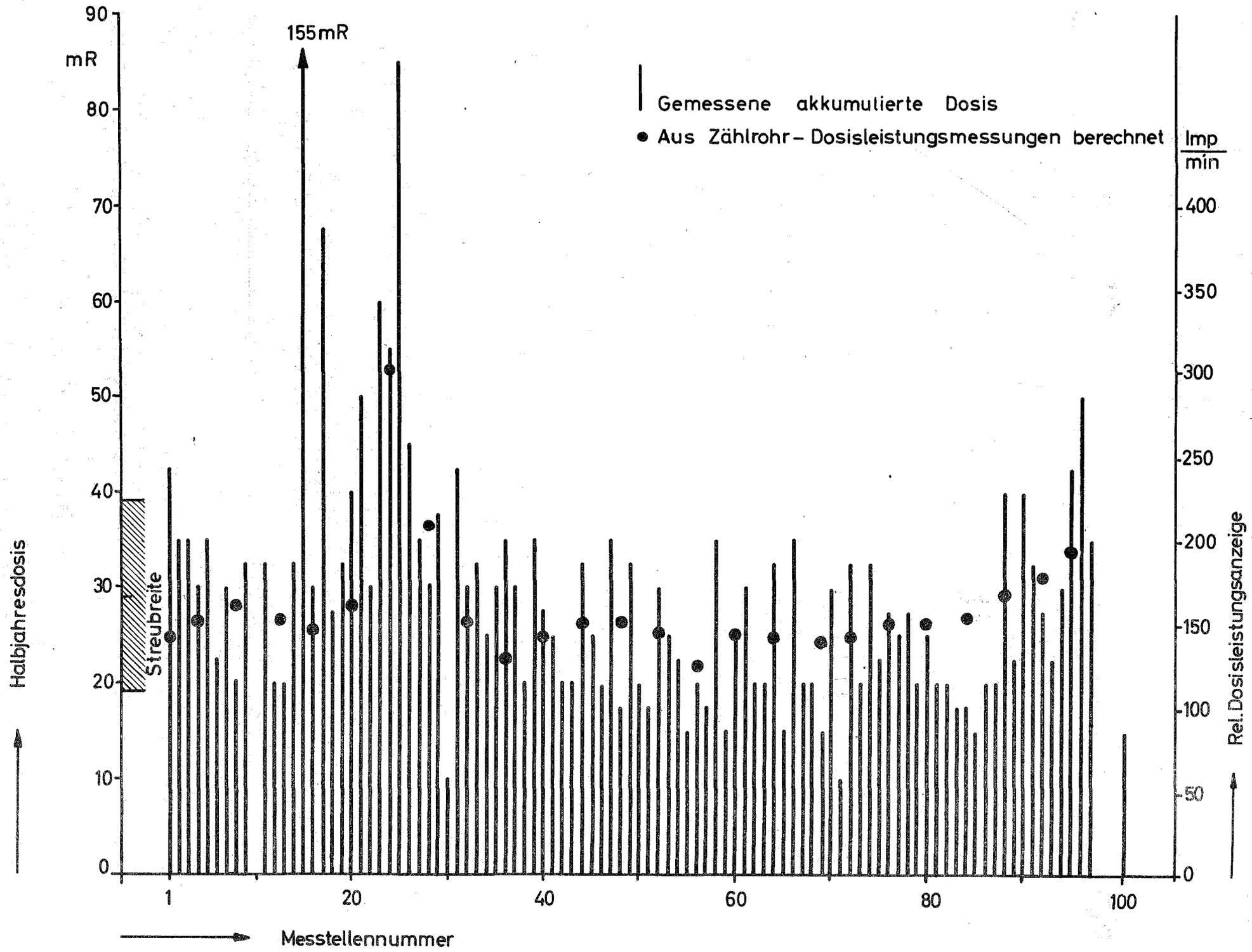
### 6.1 Die örtliche Verteilung der Dosis

Die im folgenden mitgeteilten Ergebnisse beziehen sich auf die 100 Meßstellen entlang der Geländegrenze des Kernforschungszentrums Karlsruhe. Die Akkumulationszeit betrug 190 Tage.

Die örtliche Verteilung der Halbjahresdosis gibt Abb. 10 wieder. Auf der Abszisse der graphischen Darstellung sind die fortlaufenden Nummern der äquidistanten Meßstellen aufgetragen. Die Abszisse stellt zugleich eine Abwicklung des Umfangs der Fläche des Kernforschungszentrums dar.

Die in Abb. 11 dargestellte Häufigkeitsverteilung der an 97 Stellen gemessenen Halbjahresdosen hat ihr Maximum im Dosisintervall 20 mR bis 30 mR. Dieser häufigste und deshalb zugleich wahrscheinlichste Wert für die mittlere Halb-

Abb. 10 : Die örtliche Verteilung der Halbjahresdosis



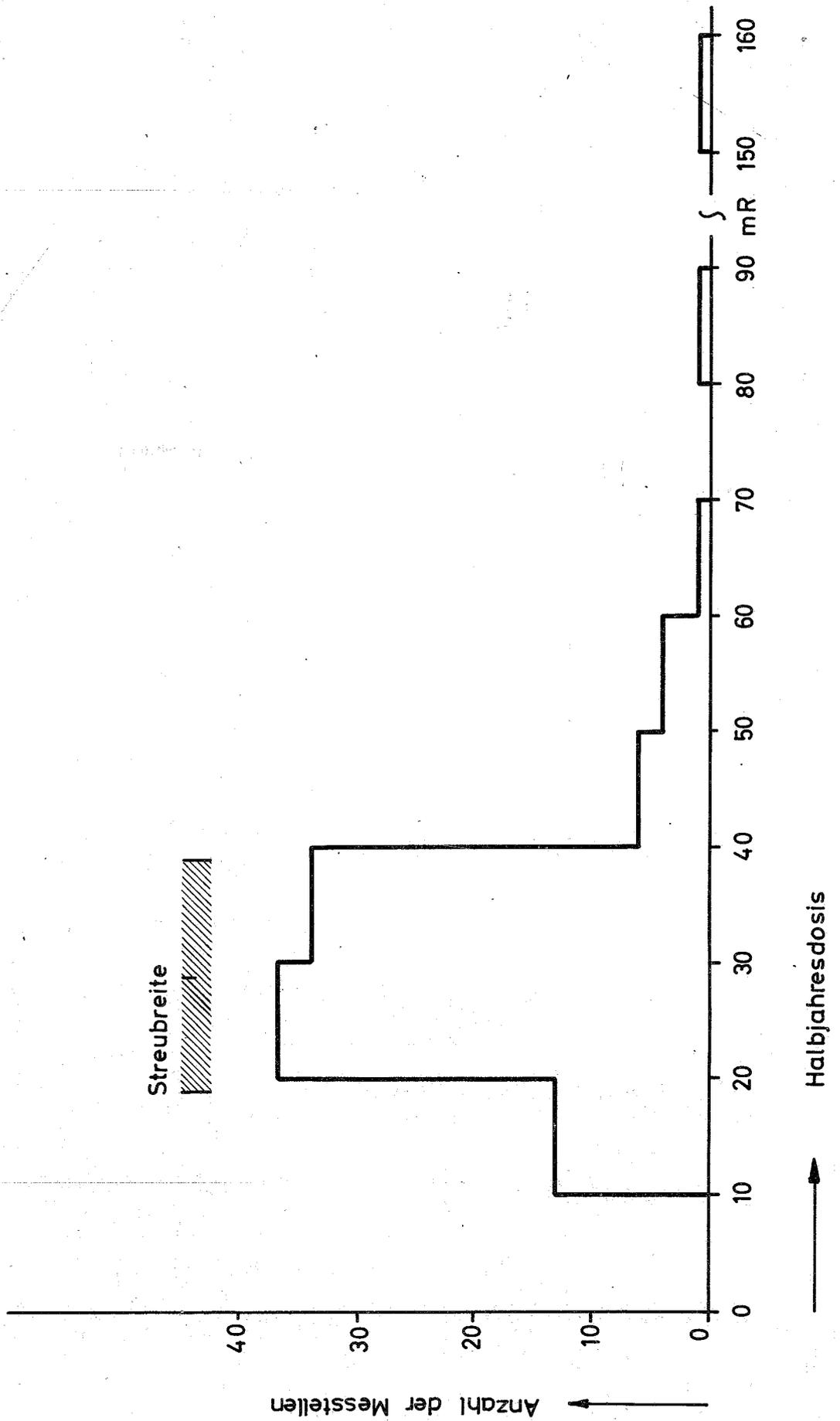


Abb. 11: Die Häufigkeitsverteilung der örtlichen Halbjahresdosis von 97 Meßstellen

Jahresdosis des Beobachtungszeitraumes stimmt mit dem arithmetischen Mittelwert überein, wenn zu dessen Bildung die offensichtlich durch künstliche Strahlenquellen erhöhten Dosiswerte  $>60$  mR nicht berücksichtigt werden.

Der so erhaltene Mittelwert von 29 mR und die Streubreite von  $\pm 10$  mR, die sich aus der Fehlerbetrachtung (Abschnitt 7.2) ergeben, sind in Abb. 11 eingezeichnet.

Unter Meßstellen mit vermutlicher Dosisüberhöhung, deren Ursache nachgegangen werden sollte, verstehen wir solche mit Meßwerten größer als 40 mR, was der oberen Grenze der Streubreite entspricht.

Der extrem hohe Dosiswert (Paarmittel) von 155 mR der Meßstelle Nr. 15 widersetzt sich jedem Deutungsversuch. Ein zunächst vermuteter Zusammenhang mit der Bestrahlungsanlage des Instituts für Strahlenbiologie konnte nicht nachgewiesen werden. Die sich anschließende Gruppe erhöhter Dosismeßwerte der Meßstellen 17 bis 29 findet ihre Erklärung durch die unmittelbare Nähe des radioaktiven Abfallagers des Kernforschungszentrums und möglicherweise auch des Zyklotrons.

Die schwach erhöhten Dosen der Meßstellen 88 bis 96 sind vermutlich auf Einstrahlungen aus der Asphaltdecke der parallel verlaufenden Straße zurückzuführen. Die Abbildungen 3 und 12 dienen der Veranschaulichung dieser Zusammenhänge.

Ein direkter Einfluß der Einstrahlung aus der Argon-41-Abluftfahne auf die Verteilung der akkumulierten Dosen läßt sich nicht nachweisen. Die in Abb. 13 aufgezeichnete Wind-Charakteristik für den Expositionszeitraum mit ihren beiden Häufigkeitsmaxima für Winde in Richtung NO und SW hätte, wenn überhaupt, Dosiserhöhungen an der Geländegrenze in diesen Richtungen erwarten lassen.

Die mit einem großflächigen Zählrohr BZ 120 an jeder vierten Meßstelle bei abgeschaltetem Reaktor gemessenen  $\beta$ - $\gamma$ -Impulsraten passen sich in ihrem Verlauf der Dosisverteilung ausgezeichnet an. Die Impulsraten wurden, durch Punkte gekennzeichnet, in das Strichraster der Dosisverteilung von Abb. 10 mit eingezeichnet. Nach Abzug des Anteiles der Eigenaktivität des Zählrohres von der Gesamtpulsrate und nach Umrechnung auf Dosiswerte (7), ergab sich aus der Zählrohrmessung eine örtliche Verteilung, die das von den Glasdosimetern gelieferte Ergebnis bestätigt.

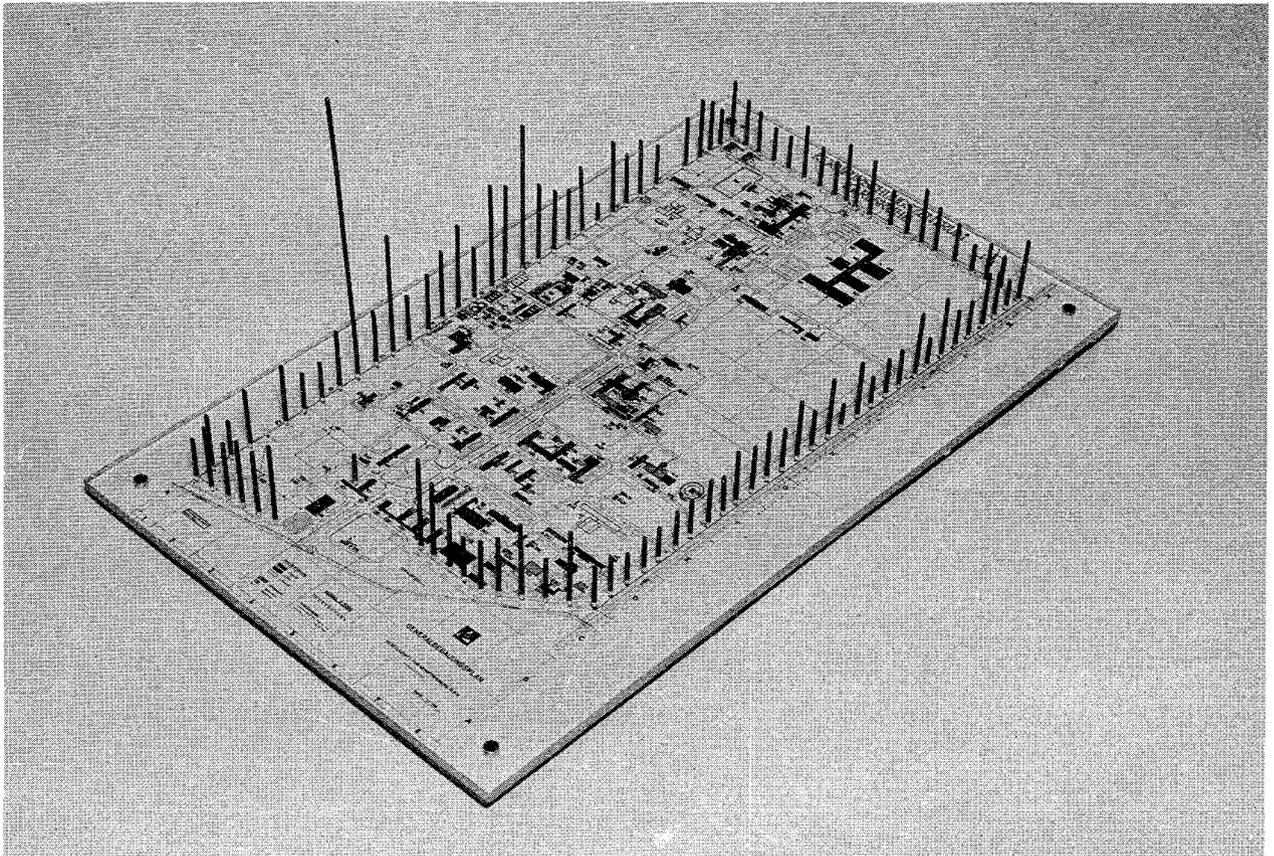


Abb. 12 : Räumliche Darstellung der an der Geländegrenze des Kernforschungszentrums akkumulierten Halbjahresdosen

## 6.2 Jahresdosis

Aus den hier gewonnenen Werten kann die pro Jahr zu erwartende Strahlenbelastung ermittelt und mit den aus anderen Meßmethoden erhaltenen Jahresdosen verglichen werden.

Eine Zusammenstellung bisher publizierter Dosiswerte findet sich bei (8) (Abb. 14).

Der auffallend große Schwankungsbereich erklärt sich hauptsächlich aus der geologischen Beschaffenheit der jeweiligen Meßgebiete. Der sich für das Kernforschungszentrum aus den Glasdosimetermessungen ergebende mittlere Wert von 60 mR pro Jahr wurde mit zugehöriger Streubreite zum Vergleich in Abb. 14 eingezeichnet. Da unser Meßgebiet relativ klein ist, machen sich keine geologisch bedingten Unterschiede bemerkbar. Man erkennt, daß

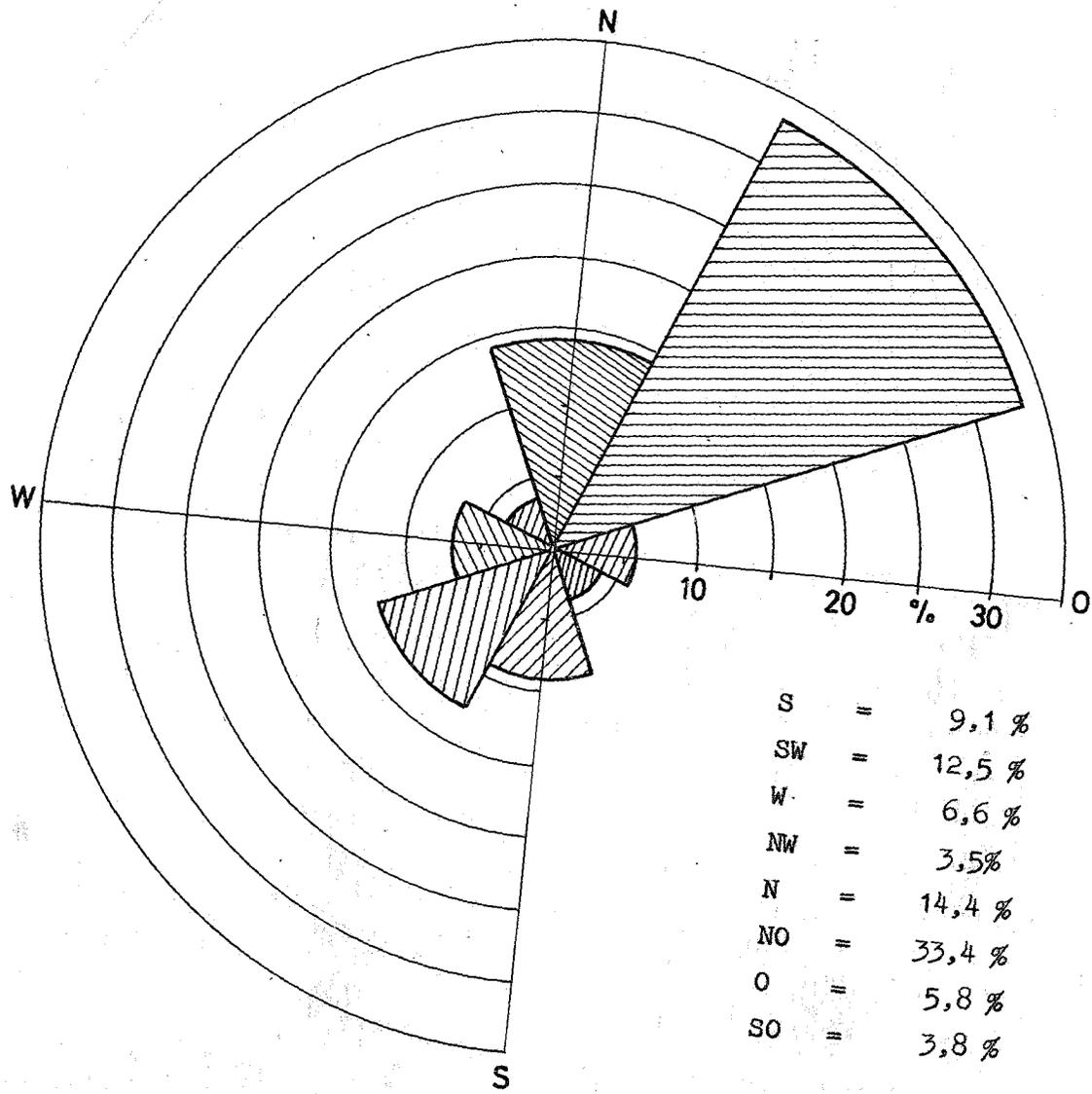


Abb. 13 : Häufigkeitsverteilung der Richtung der A-41-Abluftfahne

AUTOR	JAHR			GEBIET METHODE
SIEVERT	(1952)	11	167	SCHWEDEN (berechnet)
HULTQVIST	(1956)	24	218	SCHWEDEN (berechnet)
NEHER	(1957)	9	158	USA (Ionisationsk.)
VENNART	(1957)	21	70	G B (Geiger Zähler)
SOLOMON	(1960)	70	216	USA (Ionisationsk.)
HERBST	(1963)	16	252	DEUTSCHLAND (Ionisationsk.)
SPIERS	(1963)	50	300	G B (Ionisationsk.)
LOWDER	(1964)	22	155	USA (Spektrometer)
SEGALL	(1964)	111	159	USA (Personendosimeter)
STORRUSTE	(1965)	62	191	NORWEGEN (Ionisationsk.)
KEIL	(1965)	43	71	DEUTSCHLAND (Spektrometer)
MAUSHART, PIESCH, WINTER	(1966)			KFK (Glasdosimeter)

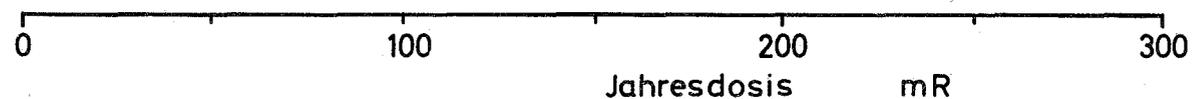


Abb. 14 : Schwankungsbereich der natürlichen Strahlenbelastung

die Karlsruher Werte im unteren Bereich der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenbelastung liegen.

## 7. Erreichbare Meßgenauigkeit an der unteren Dosisnachweisgrenze

### 7.1 Einfach-Dosimeterauswertung

Die Verwendung von Glasdosimetern zu Niederdosismessungen des natürlichen Strahlenpegels wird durch die an der unteren Nachweisgrenze auftretenden Fehlereinflüsse des Meßverfahrens begrenzt. Es sind daher ohne besondere Maßnahmen bei der Auswertung Expositionszeiten von mindestens 6 Monaten und mehr erforderlich, um mit der akkumulierten Umgebungs-dosis die untere Dosisnachweisgrenze von ca. 40 mR zu erreichen.

Die statistischen Fehlereinflüsse des Meßverfahrens (Meßgeräteinkonstanz, Waschvorgang, Subtraktion der Vordosis vom Meßwert) konnten für einen routinemäßigen Wasch- und Auswertevorgang durch gesonderte Meßreihen ermittelt werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Fehlereinflüsse an der unteren Nachweisgrenze wurden im einzelnen folgende Vertrauensgrenzen erzielt:

Fehlereinfluß des Auswertegerätes:	Meßfehler innerhalb $\pm 5$ mR mit einer Vertrauensgrenze von 89 %
Fehlereinfluß des Auswertegerätes und der zugrundegelegten Waschmethode:	Meßfehler innerhalb $\pm 10$ mR mit einer Vertrauensgrenze von 88 %
Gesamtfehlereinfluß bei Langzeitexposition von 6 Monaten:	Meßfehler $\leq 15$ mR mit einer Vertrauensgrenze von 82 %

Die Streuung von Meßwerten innerhalb einer Meßreihe kann nur dann als örtliche Änderung der Dosisverteilung angesehen werden, wenn der Betrag der Änderung größer ist als die Streubreite statistisch auftretender Meßfehler. Bei Messungen im unteren Dosisbereich muß für einzelne Gläser bei dem Einfach-Auswertevorgang mit einer statistischen Streubreite von  $\pm 15$  mR gerechnet werden. Der statistische Charakter des Meßfehlereinflusses läßt die Aussage zu, daß in 82 % der Fälle diese Schwankung nicht überschritten wird.

## 7.2 Doppel-Dosimeterauswertung

Um Änderungen des natürlichen bzw. künstlichen Strahlungspegels durch eine Messung der akkumulierten Dosis innerhalb einer Meßreihe mit einem noch kleineren Meßfehler feststellen zu können, wurde die in Abschnitt 5.3 beschriebene Methode der Doppel-Dosimeterexposition und Doppelauswertung angewandt.

Für die vorliegende Reihe von 97 Meßwerten wurde innerhalb einer Expositionszeit von 6 Monaten eine mittlere akkumulierte Dosis von 29 mR erhalten. Man erzielt durch die Zweifach-Auswertung für einen Meßfehler von  $\pm 10$  mR eine 84 %ige Vertrauensgrenze (Abb. 11). Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, daß hierbei örtliche Schwankungen des Strahlungspegels bei der Mittelwertbildung mit eingehen und sich zu statistischen Fehlern des Meßverfahrens addieren, so daß der tatsächliche Fehler des Meßverfahrens auch kleiner sein kann.

Schwankungen der örtlichen Dosisleistung können bei einer 6monatigen Expositionszeit nur dann festgestellt werden, wenn sie mehr als 40 % der mittleren Halbjahresdosis betragen.

Eine längere Expositionszeit der Dosimeter von beispielsweise 12 Monaten, die zu einer mittleren Ganzjahresdosis von ca. 60 mR führt, wird bei gleichem Meßfehler von  $\pm 10$  mR zu einer günstigeren Vertrauensgrenze führen. Eine mehr als 20 %ige Änderung der mittleren Ganzjahresdosis könnte auf eine echte Schwankung der örtlichen Dosisverteilung zurückgeführt werden.

L i t e r a t u r

- 1) R. Maushart und E. Piesch  
Ext. Bericht 20/66-2 der Gesellschaft für Kernforschung, 1966
- 2) E. Piesch  
DIRECT INFORMATION 17/64, 1964
- 3) J. S. Cheka  
Health Physics 8, S. 551, 1962
- 4) J. S. Cheka  
Health Physics 10, S. 303, 1964 und ORNL-3349, 1965
- 5) E. Piesch  
DIRECT INFORMATION 4/66, 1966
- 6) R. Yokota und S. Nakajima  
Symp. Luminescence Dosimetry, Stanford 1965
- 7) E. Piesch  
Kerntechnik (im Druck)
- 8) A. Keil und B. Rajewsky  
Atompraxis 12, S. 579, 1966