

**KfK 5214**  
**September 1993**

**Praktische Erfahrungen bei  
der Durchführung von  
Freigabe-Messungen mit der  
Freimeßanlage H 13630**

**A. Reichert**  
**Hauptabteilung Sicherheit**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



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

**KfK 5214**

**Praktische Erfahrungen bei der Durchführung von Freigabe-Messungen mit der  
Freimeßanlage H 13630**

**A. Reichert**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe**

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

ISSN 0303-4003

## Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt die praktische Durchführung von Freigabemessungen nach dem Prinzip der Gesamt-Gamma-Messung am Beispiel zweier Reststoffchargen unterschiedlichen Materials und unterschiedlicher Herkunft. Des Weiteren werden die bei der Durchführung der Freigabemessungen gewonnenen Erfahrungen aufgezeigt. Insbesondere was die Bestimmung des Nuklidvektors und des Schlüsselnuklids, der Kalibrierung und der Bewertung der Meßergebnisse betrifft, zeigt sich, daß die hierbei durchzuführenden Voruntersuchungen sehr zeitaufwendig sind. Der erforderliche Zeitaufwand, so hat sich gezeigt, liegt bei einem inhomogen kontaminierten Meßgut wesentlich höher als bei einem homogen kontaminierten Meßgut.

Unter Berücksichtigung des erforderlichen Zeitaufwandes für die Voruntersuchungen gegenüber dem für die Entscheidungsmessung kann gesagt werden, daß eine Freigabemessung mit der beschriebenen Freimeßanlage nur für möglichst homogen kontaminierte oder aktivierte Massengüter, wie Bauschutt, Isoliermaterial, Blech, Rohrleitung usw., wirtschaftlich vertretbar ist.

## **Practical Experience Accumulated in Clearance Measurements with the H 13630 Clearance Measurement System**

### **Abstract**

This report is a description of the practice of clearance measurements on two batches of residues composed of different materials of different origins, based on the principle of total gamma measurement. Besides, experience accumulated in performance of clearance measurements is outlined. Especially regarding the determination of the nuclide vector and the key nuclide as well as calibration and evaluation of the measured results, it has appeared that the necessary preliminary examinations take much time. It has been found that expenditure in terms of time is much higher with an inhomogeneously contaminated material to be measured than with a homogeneously contaminated one.

Taking into account the time required for the preliminary investigations compared with that for the decision measurement, it can be said that clearance measurements with the clearance measurement system described are justified from the economic point of view only for bulk goods preferably contaminated or activated homogeneously such as rubbish, insulating material, sheet metal, pipework, etc.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Gesetzliche Grundlagen	1
2. Aufbau der Freimeßanlage H 13630	1
2.1 Mechanischer Aufbau	1
2.2 Radiologische Daten	2
3. Praktische Durchführung von Freigabemessungen	3
3.1 Reststoffcharge G-92-0036	3
3.1.1 Allgemeine Angaben	3
3.1.2 Bestimmung von Schlüsselnuclid, Nuclidvektor und Hochrechnungsfaktor	3
3.1.3 Kalibrierung	5
3.1.4 Durchführung der Freigabemessung	6
3.1.5 Bewertung der Meßergebnisse	7
3.2 Reststoffcharge G-93-0005	8
3.2.1 Allgemeine Angaben	8
3.2.2 Bestimmung von Schlüsselnuclid, Nuclidvektor und Hochrechnungsfaktor	8
3.2.3 Kalibrierung	10
3.2.4 Durchführung der Freigabemessung	11
3.2.5 Bewertung der Meßergebnisse	11
4. Abbildungen	

## 1. Gesetzliche Grundlagen

Mittels der bei KfK-HDB installierten und von HS/Ü betriebenen Freimeßanlage (Typ Herfurth H 13630) sollen nach dem Prinzip der Gesamt-Gamma-Messung radioaktive Reststoffe daraufhin überprüft werden, ob sie einer uneingeschränkten bzw. eingeschränkten Wiederverwertung zugeführt werden können.

Gemäß HDB-Genehmigung (K 95/83 Stand 27.5.92) dürfen radioaktive Reststoffe dann einer uneingeschränkten Wiederverwertung zugeführt werden, wenn

- durch repräsentative Aktivitätsmessung sichergestellt ist, daß die spezifische Aktivität das 5 E-5fache der Freigrenze je Gramm (nach StrlSchV Anlage IV Tab. IV Sp. 4) nicht überschreitet
- durch repräsentative Kontaminationsmessung sichergestellt ist, daß die bei festen Reststoffen an der Oberfläche haftende Kontamination gemittelt über 100 cm<sup>2</sup> die folgenden Werte nicht überschreitet:
  - 0,05 Bq/cm<sup>2</sup> für  $\alpha$ -Strahler mit einer Freigrenze von 5 E3 Bq
  - 5 Bq/cm<sup>2</sup> für  $\beta$ - und  $\epsilon$ -Strahler mit einer Freigrenze von 5 E6 Bq sowie für C-14, P-33, S-35, Ca-45, Fe-55, Ni-63, V-48, Mn-54, Co-58, Zn-65, Cr-51 und Pm-147
  - 0,5 Bq/cm<sup>2</sup> für sonstige Radionuklide
- die Dosis an der Oberfläche der Reststoffe 0,5  $\mu$ Sv/h nicht überschreitet.

Aufgrund dieser Vorgaben aus der Genehmigung, sowie der Vorgaben aus den sich im Entwurf befindlichen DIN-Normen 25457 Teil 1 und Teil 4, ergibt sich das unter Kap. 3 dieses Berichtes beschriebene Freigabeverfahren mittels Gesamt-Gamma-Messung.

## 2. Aufbau der Freimeßanlage H 13630

### 2.1 Mechanischer Aufbau

Der mechanische Aufbau der Freimeßanlage besteht im wesentlichen aus einer tunnelförmigen Meßkammer, in welcher die 4 Plastik-Szintillationsdetektoren, die 12 Xenon-Proportionalzähler sowie ein Geiger-Müller-Zählrohr untergebracht sind, einer Rollen-Fördereinrichtung, dreigeteilt in Beladezone, Wiegezone und Meß- bzw. Entladezone sowie einem Meßschrank, in welchem die Rechereinheit, Waageterminal und Monitor mit Tastatur untergebracht sind.

Die Meßkammer besitzt an ihrer Außenseite eine 30 mm starke Bleiabschirmung, die Innenseite ist mit Edelstahl ausgekleidet. Hinter den Aussparungen sind die Nachweisdetektoren angeordnet, pro Seite (rechts, links, oben) ein Plastikszintillationsdetektor mit einem aktiven Meßvolumen von 0,04 m<sup>3</sup> (80·50·10 cm<sup>3</sup>)



sowie 4 Xenonproportionalzähler mit einer effektiven Fensterfläche von 1000 cm<sup>2</sup>. An der Unterseite der Meßkammer befindet sich ein Plastiksintillationsdetektor und das Geiger-Müller-Zählrohr.

Die stirnseitig offene Meßkammer besitzt eine lichte Innenabmessung von 2m·1m·1m, Meßkammer und Fördereinrichtung sind so ausgelegt, daß zur Aufnahme des Meßgutes Euro-Paletten verwendet werden können. Die Rollenförderbahn ist für ein Gewicht von max. 1000 kg ausgelegt. Die Abb. 1 zeigt eine Gesamtansicht der Freimeßanlage.

## 2.2 Radiologische Daten

Die verwendeten Nachweisdetektoren besitzen eine unterschiedliche Empfindlichkeit für die vom Meßgut emittierten  $\gamma$ -Quanten: Für  $\gamma$ -Energien  $< 200$  keV sind die Xenondetektoren geeignet, für  $\gamma$ -Energien  $> 200$  keV die Plastiksintillationsdetektoren.

Zur Bestimmung der  $\beta/\gamma$ -Aktivität werden ausschließlich die Plastiksintillationsdetektoren verwendet. Eine Aktivitätsbestimmung mittels der Xenondetektoren erfolgte bislang nicht, da zum einen die seither untersuchten Materialien nicht  $\alpha$ -kontaminiert waren (Messung des Am-241 über die  $\gamma$ -Linie), zum anderen die  $\gamma$ -Energien der relevanten Nuklide  $> 200$  keV waren.

Im Rahmen der Inbetriebnahme wurde der Wirkungsgrad (integral) sowie die Nachweisgrenze für verschiedene Gammaenergien und verschiedene Abschirmungen bestimmt, die Ergebnisse sind in Tab. 1 dargestellt.

Präparat in Meßkammermitte	Co-60 Abschirmung		Cs-137 Abschirmung	
	Luft	20 mm Stahl 1)	Luft	20 mm Stahl 1)
Wirkungsgrad integral	19,8 %	13,8 %	8,9 %	5,7 %
Nachweisgrenze	190 Bq	270 Bq	410 Bq	650 Bq

1) Stahlwürfel mit 20 mm Wandstärke

Tab. 1: Integrale Meßkammerempfindlichkeit und Nachweisgrenze

Die Nachweisgrenze wurde in Anlehnung an DIN 25482 Teil 1 berechnet.

### 3. Praktische Durchführung von Freigabemessungen

Um große Mengen radioaktiver Reststoffe, bedingt durch die Stilllegung von kerntechnischen Anlagen, freizumessen, wurde bei KfK-HDB eine Freimeßanlage, welche nach dem Prinzip der Gesamt-Gamma-Messung arbeitet, installiert.

Mit der Freimeßanlage sollen Massengüter wie Bauschutt, Isolierwolle, Bleche und Elektrokabel ausgemessen werden. Erste praktische Erfahrungen haben gezeigt, daß Freigabemessungen nach diesem Verfahren nur sinnvoll sind für große Mengen homogen kontaminierten oder aktivierten Materials. Die praktischen Erfahrungen werden am Beispiel zweier Reststoffchargen unterschiedlichen Materialtyps und unterschiedlicher Herkunft aufgezeigt.

#### 3.1 Reststoffcharge G-92-0036

##### 3.1.1 Allgemeine Angaben

Bei dieser Reststoffcharge handelt es sich um Messingrohre mit einem Innendurchmesser von 28 mm und einer Wandstärke von 1 mm. Die Gesamtmenge liegt bei ca. 120 t, verteilt auf mehrere Chargen. Das Messingrohr war im Kondensator eines Kernkraftwerkes mit Siedewasserreaktor eingebaut, verfahrensbedingt war eine Kontamination nur an der Außenseite des Materials möglich, da das Innere der Rohre von dem inaktiven Kühlwasser durchströmt wurde.

Das Material wurde in 20-Fuß-Containern bei KfK-HDB angeliefert, zur weiteren Bearbeitung (Dekontamination) wurde das Messingrohr in Teilstücke mit ca. 80cm Länge zersägt (im Kontrollbereich).

##### 3.1.2 Bestimmung von Schlüsselnuklid, Nuklidvektor und Hochrechnungsfaktor

Im Rahmen des Freigabeverfahrens für diese Reststoffcharge wurden umfassende Voruntersuchungen durchgeführt, aus denen letztendlich Schlüsselnuklid, Nuklidvektor und Hochrechnungsfaktor bestimmt wurden. Es wurden die im folgenden aufgeführten Voruntersuchungen durchgeführt.

- Messung der Oberflächenaktivität durch Direktmessung und Wischtest vor und nach Dekontamination
- Bestimmung der massenspezifischen Aktivität durch  $\gamma$ -Spektroskopie vor und nach Dekontamination
- Bestimmung des Masse/Oberflächen-Verhältnisses.

Die Ergebnisse sind Tab. 2 dargestellt:

Art der Messung	Aktivität	Nuklid	Bemerkungen
OA, direkt vor Deko	< 0,05 Bq/cm <sup>2</sup> 2,2 Bq/cm <sup>2</sup>	α-Strahler β-Strahler	max. Wert
OA, WT vor Deko	< 0,05 Bq/cm <sup>2</sup> 1,3 Bq/cm <sup>2</sup>	α-Strahler β-Strahler	max. Wert
γ-Spektroskopie vor Deko	0,69 Bq/g 0,025 Bq/g 0,012 Bq/g	Co-60 Mn-54 Cs-137	
OA, direkt nach Deko	< 0,05 Bq/cm <sup>2</sup> < 0,5 Bq/cm <sup>2</sup>	α-Strahler β-Strahler	alle Werte
OA, WT nach Deko	< 0,05 Bq/cm <sup>2</sup> < 0,5 Bq/cm <sup>2</sup>	α-Strahler β-Strahler	< NWG
γ-Spektroskopie nach Deko	0,22 Bq/g	Co-60	1. Probe
	0,036 Bq/g 0,003 Bq/g 0,008 Bq/g	Eu-152 Co-60 Cs-137	2. Probe (K2)
	< NWG	-	3. Probe (K6)
	0,003 Bq/g	Co-60	4. Probe (K9)

OA Oberflächenaktivität, NWG Nachweisgrenze, WT Wischprobe

Tab. 2. Meßergebnisse der Voruntersuchungen

Aufgrund der Herkunft des Materials sowie der Ergebnisse der Voruntersuchungen war eine α-Kontamination des Materials auszuschließen, als Schlüsselnuclid für die Entscheidungsmessung wurde Co-60 festgelegt.

Der Nuklidvektor, basierend auf Angaben des Abgebers (bestimmt aus einer Kühlmittelprobe), ist in Tab. 3 dargestellt.

Nuklid	Anteil in %
Fe-55	65,8
Co-60	24,4 *)
Mn-54	6,8 *)
Cs-137	2,4 *)
Ni-63	1,1
Pu-241	0,005

\*) mit Gesamt-Gamma-Messung erfaßbare Nuklide

Tab. 3: Nuklidvektor der Reststoffcharge G-92-0036

Wie aus Tab. 3 ersichtlich, setzt sich die Gesamtaktivität aus dem Anteil der mittels Gesamt-Gamma-Messung meßbaren und dem Anteil der nicht meßbaren Nuklide zusammen. Durch den Hochrechnungsfaktor wird der Anteil der nicht meßbaren Nuklide berücksichtigt. Die Gesamtaktivität errechnet sich nach

$$A_g = f_s \cdot A_s$$

mit  $A_g$ : Gesamtaktivität in Bq (entsprechend 100 %)  
 $A_s$ : Aktivität der/des Schlüsselnuclide in Bq (Anteil in %)

Der Hochrechnungsfaktor ergibt sich somit zu

$$f_s = A_g / A_s = 100 / 33,6 = 3,0.$$

### 3.1.3 Kalibrierung

Zur Kalibrierung wurde die gleiche Meßgeometrie wie bei der späteren Entscheidungsmessung verwendet. Hierzu wurden die ca. 80 cm langen Teilstücke senkrecht in einem Rungengestell aufgestellt und dieses wiederum wurde auf eine Euro-Palette gestellt. Die Abb. 2 zeigt die entsprechende Meßgeometrie. Bei derartigen Massengütern ist es erforderlich, daß zur Bestimmung des Nulleffekts der Freimeßanlage eine dem Meßgut entsprechende Nullprobe verwendet wird. Bei den Messingrohren konnte eine Reduzierung des Nulleffekts um ca. 20 - 25 % durch Einbringen der Nullprobe in die Meßkammer beobachtet werden. Als Kalibrierstrahler wurde ein Co-60 Punktstrahler mit einer Aktivität von 3,8 E4 Bq verwendet. Der Strahler wurde in Meßgutmitte positioniert. Diese Anordnung ergibt allseitig die größte Abschirmung. Der ermittelte integrale Wirkungsgrad für

diese Meßgeometrie lag, unter Beachtung der oben genannten Randbedingungen, bei  $0,1 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1}$ .

In Anlehnung an DIN 25482 Teil 1 ergab sich eine Nachweisgrenze von 160 Bq Co-60 pro Rungengestellt (Fehler 1. und 2. Art 5 %,  $t_o = 200 \text{ s}$ ,  $t_b = 120 \text{ s}$  und  $\rho_o = 4600 \text{ s}$ ).

In diesem Rahmen wurden auch Kalibriermessungen durchgeführt, bei denen die Position des Kalibrierstrahlers verändert wurde. Hierzu wurden Messungen in drei Ebenen mit jeweils 25 Meßpunkten durchgeführt. Die Abb. 3 - 6 zeigen die Meßergebnisse graphisch dargestellt. Für eine inhomogene Aktivitätsverteilung innerhalb der mittleren Ebene ergab sich eine max. Unterschätzung um den Faktor 2, eine max. Überschätzung um den Faktor 2,8. Bei dieser Betrachtungsweise mit einzelnen Ebenen liefert die mittlere Ebene den Wert mit der max. Unterschätzung insgesamt.

#### 3.1.4 Durchführung der Freigabemessung

Zur Durchführung der Messungen wurde die Freimeßanlage mittels Gabelstapler be- und entladen. Das Meßgut befand sich hierzu in einem Rungengestell, dieses stand wiederum auf einer Palette. Die Abb. 7 zeigt den Be- bzw. Entladevorgang.

Der Zeitaufwand für Be- und Entladen sowie Durchführung der Entscheidungsmessung lag bei 3 Mannstunden (1 Strahlenschutztechniker, 1 Helfer). Als sehr zeitaufwendig erwies sich hierbei das Be- und Entladen mittels Gabelstapler. Die reine Meßzeit für die Entscheidungsmessung (1 Messung) lag bei 120 s. Ein Ergebnisprotokoll ist beispielhaft in Abb. 8 dargestellt. Die gesamte Darstellung der Meßergebnisse sowie die erforderliche Bewertung erfolgt in Kap. 3.1.5.

### 3.1.5 Bewertung der Meßergebnisse

Die Meßergebnisse der Charge G-92-0036 sowie die mittels der Hochrechnungsfaktors  $f_s = 3,0$  korrigierten Meßwerte sind in Tab. 4 dargestellt.

Messung-Nr.	A $\gamma$ -gesamt in Bq	AG in Bq	Am in Bq/g
1	1,8 E3	5,4 E3	9,2 E-3
2	3,8 E3	1,1 E4	2,0 E-2
3	2,8 E3	8,4 E3	1,4 E-2
4	5,5 E3	1,7 E4	2,9 E-2
5	5,3 E3	1,6 E4	3,0 E-2
6	5,0 E3	1,5 E4	2,8 E-2
7	1,7 E4	5,1 E4	1,0 E-1 *
8	2,1 E4	6,3 E4	1,2 E-1 *
9	1,9 E4	5,7 E4	1,1 E-1 *
10	2,0 E4	6,0 E4	1,2 E-1 *
11	2,0 E4	6,0 E4	1,2 E-1 *
12	1,4 E4	4,2 E4	8,0 E-2 *

A $\gamma$ -gesamt = gemessene Aktivität, AG = Gesamtaktivität, Am = massenspezifische Aktivität

\* nuklidspezifische Betrachtungsweise erforderlich

Tab. 4: Meßergebnisse der Entscheidungsmessung

Aufgrund einer Genehmigungsaufgabe ist nur bei einer mittels Gammamessung ermittelten massenspezifischen Aktivität von  $> 5 \text{ E-2 Bq/g}$  eine nuklidspezifische Aktivitätsbetrachtung auf Einhaltung des 5 E-5fachen der Freigrenze je Gramm erforderlich (Grenzwert für die uneingeschränkte Wiederverwertung). Diese muß für die mit \* gekennzeichneten Messungen aus Tab. 4 erfolgen. Die Betrachtung erfolgt unter Berücksichtigung des Nuklidvektors aus Tab. 3, beispielhaft für die Messung mit der maximalen massenspezifischen Aktivität ( $1,2 \text{ E-1 Bq/g}$ ). Die Ergebnisse sind in Tab. 5 dargestellt.

Nuklid	Am in Bq/g	FG in Bq	Am/FG in 1/g
Fe-55	7,9 E-2	5,0 E5	1,6 E-7
Co-60	2,9 E-2	5,0 E4	5,8 E-7
Mn-54	8,2 E-3	5,0 E5	1,6 E-8
Cs-137	2,9 E-3	5,0 E5	5,8 E-9
Ni-63	1,3 E-3	5,0 E5	2,6 E-9
Pu-241	6,0 E-3	5,0 E3	1,2 E-9
Summe	1,2 E-1	-----	7,7 E-7

FG = Freigrenze gemäß Anlage IV Tab. IV StrlSchV

Tab. 5: Nuklidspezifische Betrachtung der Freigabemessung

Wie aus dem Ergebnis aus Tab. 5 ersichtlich, ist auch bei einer massenspezifischen Aktivität von 1,2 E-1 Bq/g bei dem vorgegebenen Nuklidvektor eine Einhaltung des Grenzwertes zur uneingeschränkten Wiederverwertung vom 5 E-5fachen der Freigrenze je Gramm gewährleistet. Die Reststoffcharge G-92-0036 konnte somit der uneingeschränkten Wiederverwertung zugeführt werden.

### 3.2 Reststoffcharge G-93-0005

#### 3.2.1 Allgemeine Angaben

Bei dieser Charge handelt es sich um Glaswolle, welche zur Isolierung der Rauchgasleitungen einer Verbrennungsanlage verwendet wurde. Die an der Glaswolle haftende Aktivität dürfte größtenteils auf Kontaminationen, bedingt durch Undichtigkeiten an den Rauchgasleitungen, zurückzuführen sein. Die Gesamtmenge liegt bei 1,7 t verpackt in 83 200-l-Foliensäcke. Eine Behandlung des Materials vor der Entscheidungsmessung erfolgte nicht. Das Material wurde wie angeliefert ausgemessen.

#### 3.2.2 Bestimmung von Schlüsselnuclid, Nuklidvektor und Hochrechnungsfaktor

Im Rahmen des Freigabeverfahrens für diese Reststoffcharge wurden 12 Proben entnommen und zur nuklidspezifischen Auswertung in ein Meßlabor gegeben. Die Meßergebnisse sind in Tab. 6 dargestellt.

Probe-Nr. bzw. Sack-Nr.	A Co-60 in Bq/g	A Cs-137 in Bq/g	A Am-241 in Bq/g
1	4,2 E-2	< 2,5 E-1	< 2,8 E-2 *
2	2,5 E-2	3,2 E-2	< 3,3 E-3
3	5,3 E-2	1,2 E-1	< 3,1 E-3
4	< 1,5 E-3	< 1,4 E-3	< 1,8 E-3
5	< 1,4 E-3	< 1,2 E-3	< 1,6 E-3
6	4,3 E-1	3,7 E 0	< 2,9 E-3
7	2,0 E-1	2,2 E 0	< 1,4 E-2 *
8	6,4 E-2	2,1 E-1	< 1,3 E-3
9	< 1,2 E-3	< 1,2 E-3	< 2,0 E-3
10	< 3,7 E-3	6,4 E-2	< 4,0 E-3
11	< 1,8 E-3	< 1,6 E-3	< 2,4 E-3
12	< 2,8 E-3	< 2,7 E-3	< 3,4 E-3

\* Höhere Nachweisgrenze ist auf den für diese Messung verwendeten Detektor zurückzuführen

Tab. 6: Meßergebnisse der  $\gamma$ -spektroskopischen Auswertung

Wie aus den Ergebnissen aus Tab. 6 ersichtlich, liegt innerhalb des freizumessenden Materials eine inhomogene Aktivitätsverteilung vor. Diese Inhomogenität drückt sich sowohl in der massenspezifischen Aktivität der Einzelnuclide (Co-60, Cs-137 und Am-241) als auch im Verhältnis der Nuclide untereinander aus. Unter Berücksichtigung der Herkunft des Reststoffs läßt sich diese Inhomogenität derart erklären, daß im Falle von Undichtigkeiten an den Rauchgasleitungen die Glaswolle eine Filterwirkung zeigte und somit zu einer inhomogenen Aktivitätsverteilung im Material führte. Aufgrund der Meßergebnisse aus Tab. 6 wurde als Schlüsselnuclid zur Kalibrierung der Freimeßanlage Cs-137 bestimmt.

Da die vorliegenden Messungen keine Neubestimmung des Nuklidvektors erlaubten, wurde für weiterführende nuklidspezifische Berechnungen auf den Nuklidvektor des Abgebers der Reststoffe zurückgegriffen. Der Nuklidvektor wurde aus einer Kratzprobe an der Ofenausmauerung bestimmt. Er ist somit nur bedingt als repräsentativ für den tatsächlichen Nuklidvektor in der Glaswolle zu betrachten. Gerade was das Verhältnis Co-60/Cs-137 betrifft, führt die Verwendung dieses Nuklidvektors zu einer konservativen Aktivitätsberechnung. Erfahrungen aus den HDB-Verbrennungsanlagen haben gezeigt, daß der relative Anteil von



Cs-137 im Waschwasser des Abgaswäschers höher ist als jener des Co-60. Cs-137 besitzt demnach eine höhere Flüchtigkeit gegenüber Co-60 im Rauchgas von Verbrennungsanlagen. Diese Verschiebung des Nuklidvektors ist auch größtenteils bei den Meßergebnissen aus Tab. 6 zu erkennen. Der verwendete Nuklidvektor ist in Tab. 7 dargestellt.

Nuklid	Anteil in %
Fe-55	56,4
Co-60	22,1 *
Cs-137	10,5 *
Ni-63	9,2
Pu-241	1,4
Mn-54	1,0 *
Th-232	0,3
Sr-90	0,1
Am-241	0,03
U -234	0,02
Pu -238/239	0,01
Pu -239/240	0,01

\*) mit Gesamt-Gamma-Messung erfaßbare Nuklide

Tab. 7: Nuklidvektor der Charge G-93-0005 gemäß Begleitschein für radioaktive Reststoffe

Der Hochrechnungsfaktor ergibt sich somit zu  $f_s = 3,0$  (Berechnung s. Kap. 3.1.2).

### 3.2.3 Kalibrierung

Zur Kalibrierung wurde die gleiche Meßgeometrie wie bei der späteren Entscheidungsmessung verwendet. Hierzu wurden die Foliensäcke einzeln ausgemessen. Zur Bestimmung des Nulleffekts sowie zur Durchführung der Kalibriermessungen wurde eine Nullprobe aus vergleichbarem Material verwendet. Zur Kalibrierung wurde ein Cs-137-Punktstrahler (niedrigste  $\gamma$ -Energie der 3 meßbaren Nuklide) mit einer Aktivität von  $3,9 \text{ E}4 \text{ Bq}$  verwendet. Der Kalibrierstrahler wurde in Meßgutmitte positioniert. Der für diese Meßgeometrie ermittelte integrale Wirkungsgrad lag bei  $7,5 \text{ E-}2 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1}$ . In Anlehnung an DIN 25482 Teil 1 ergab sich eine Nachweisgrenze von  $320 \text{ Bq}$  pro Foliensack (Fehler 1. und 2. Art 5 %,  $t_o = t_b = 200 \text{ s}$  und  $p_o = 5650 \text{ s}$ ).

### 3.2.4 Durchführung der Freigabemessung

Zur Durchführung der Freigabemessungen wurden die 200-l-Foliensäcke einzeln in ein Rungengestell gepackt. Das Be- und Entladen der Freimeßanlage erfolgte wie bei der Charge G-92-0036 mittels Gabelstapler. Der Zeitaufwand für die Durchführung der Messungen lag bei 40 Mannstunden (1 Strahlenschutztechniker, 1 Helfer), die eigentliche Meßzeit für die Entscheidungsmessung (1 Messung) lag bei ca. 200 s. Die gesamte Charge bestand aus 83 Gebinden, das Nettogewicht lag im Mittel bei 20 kg pro Gebinde.

### 3.2.5 Bewertung der Meßergebnisse

Die Meßergebnisse der Gesamt-Gamma-Messung lagen für die 83 Gebinde in einem Bereich von  $< \text{NWG}$  bis  $6,7 \text{ E}5 \text{ Bq}$ . Unter Berücksichtigung des Hochrechnungsfaktors von  $f_s = 3,0$  ergab sich ein Bereich von  $< \text{NWG}$  bis  $2,0 \text{ E}6 \text{ Bq}$ .

Da das Material eine inhomogene Aktivitätsverteilung aufweist, wurden zur Berechnung der massenspezifischen Aktivität nicht die tatsächliche Masse des einzelnen Gebindes herangezogen, sondern es wurde mit der zulässigen Mittlungsmasse von 10 kg gerechnet. Die massenspezifische Aktivität lag bei max.  $2,0 \text{ E}2 \text{ Bq/g}$ . Im Mittel lag sie bei  $7,5 \text{ E}-1 \text{ Bq/g}$ . Aufgrund der unter Kap. 3.1.5 genannten Genehmigungsaufgabe war in den meisten Fällen eine nuklidspezifische Betrachtung des Meßergebnisses auf Einhaltung des  $5 \text{ E}-5$ fachen der Freigrenze je Gramm erforderlich. In Tab. 8 ist beispielhaft eine solche Betrachtung für ein Gebinde mit einer durch Gesamt-Gamma-Messung ermittelten Aktivität von  $1,0 \text{ E}4 \text{ Bq}$  dargestellt. Mit dem Hochrechnungsfaktor ergibt sich für dieses Gebinde eine Gesamtkaktivität von  $3,0 \text{ E}4 \text{ Bq}$ .

Aufgrund der angestellten nuklidspezifischen Betrachtungen war bei 77 Gebinden die Einhaltung des Grenzwertes zur uneingeschränkten Wiederverwertung bzw. Entsorgung wie gewöhnlicher Abfall ( $5 \text{ E}-5$ fache der Freigrenze je g) gewährleistet, 6 Gebinde mußten zum radioaktiven Abfall gegeben werden.

Nuklid	Anteil in %	Am in Bq/g	FG in Bq	Am/FG in 1/g
Fe-55	56,4	1,7 E 0	5,0 E5	3,4 E-6
Co-60	22,1	6,6 E-1	5,0 E4	1,3 E-5
Cs-137	10,5	3,2 E-1	5,0 E5	6,4 E-7
Ni-63	9,2	2,8 E-1	5,0 E5	5,6 E-7
Pu-241	1,4	4,2 E-2	5,0 E3	8,4 E-6
Mn-54	1,0	2,9 E-2	5,0 E5	5,8 E-8
Th-232	3,0 E-1	9,0 E-3	5,0 E4	1,8 E-7
Sr-90	1,0 E-1	3,0 E-3	5,0 E4	6,0 E-8
Am-241	3,0 E-2	9,0 E-4	5,0 E3	1,8 E-7
Summe	100,0	3,0 E 0	-----	2,7 E-5

Tab. 8: Nuklidspezifische Betrachtung des Meßergebnisses

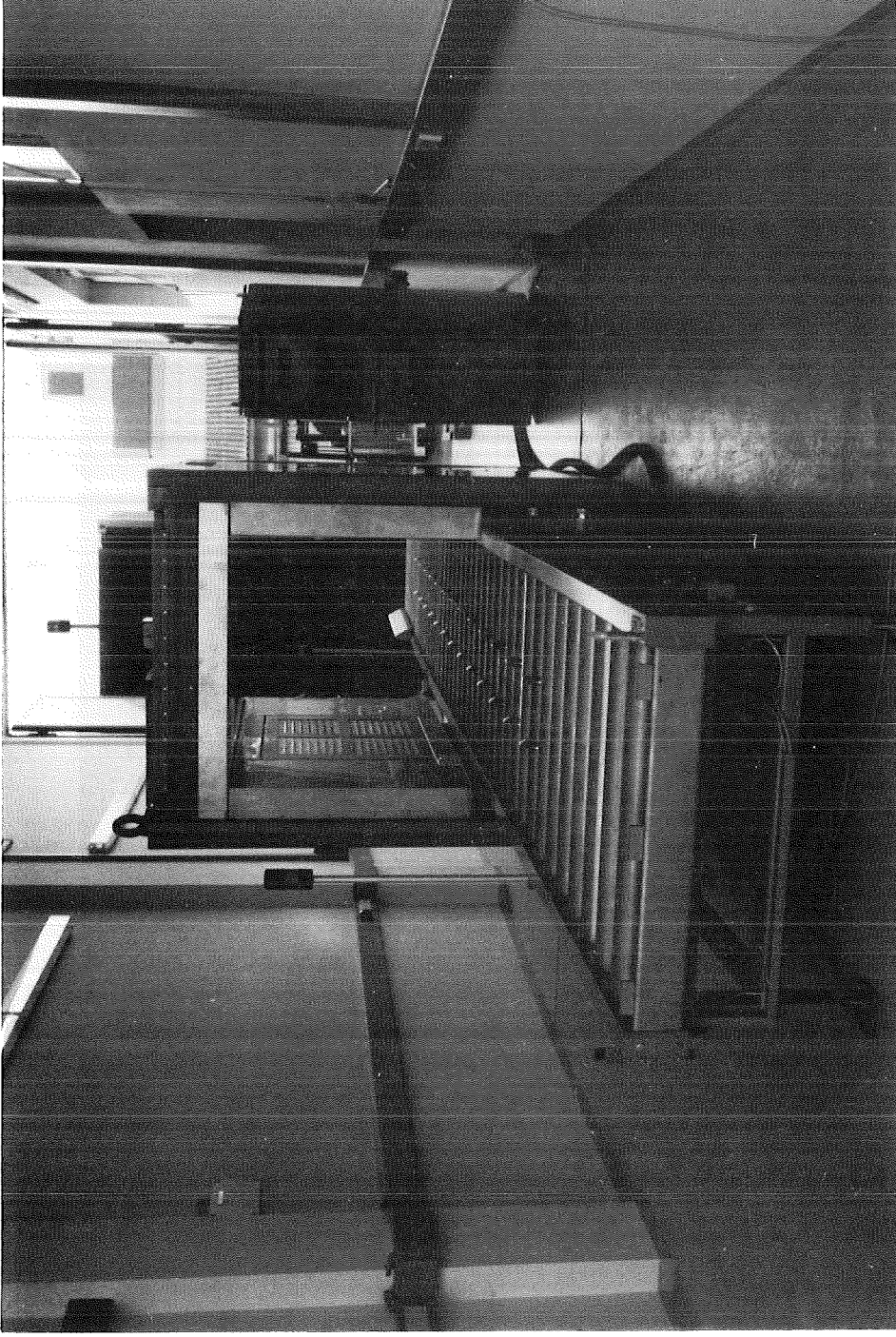


Abb. 1 Gesamtansicht der Freimeßanlage

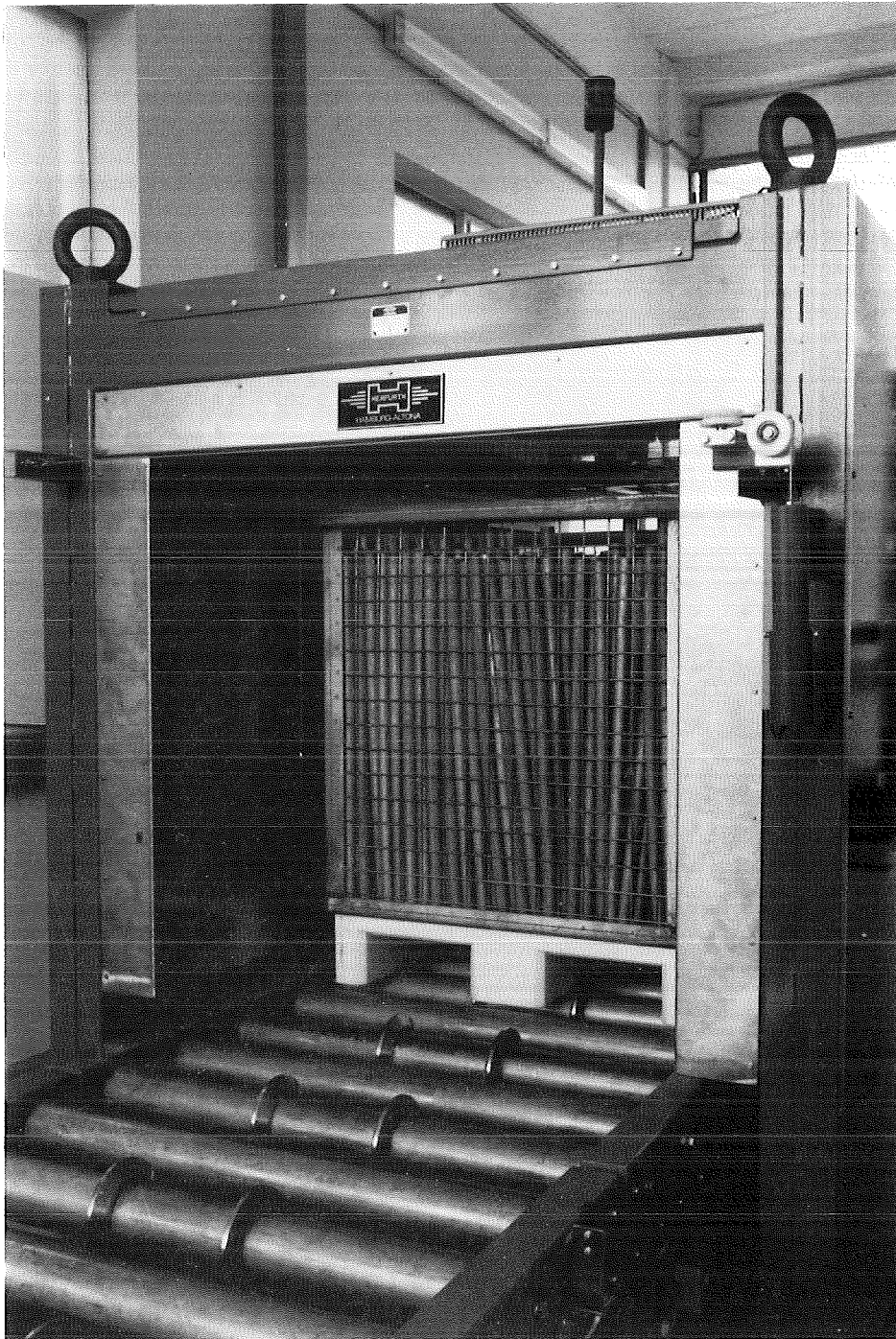


Abb. 2 Meßgeometrie der Reststoffcharge G-92-0036

# Freimeßanlage

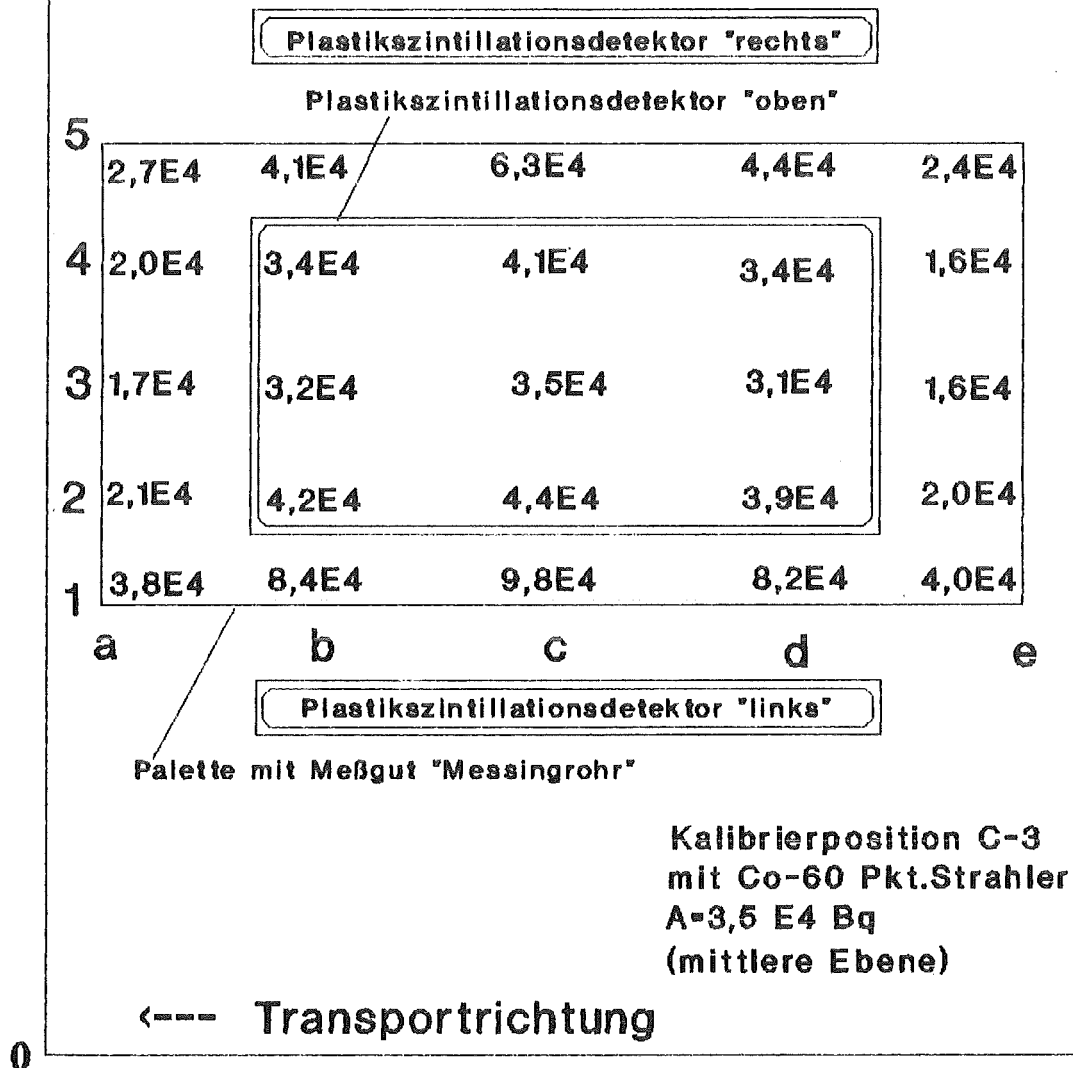


Abb. 3 Meßwerte bei unterschiedlicher Anordnung des Punktstrahlers (mittlere Ebene)

# Rel.Meßkammerempfindlichkeit

Obere Ebene ( Höhe 10 cm )

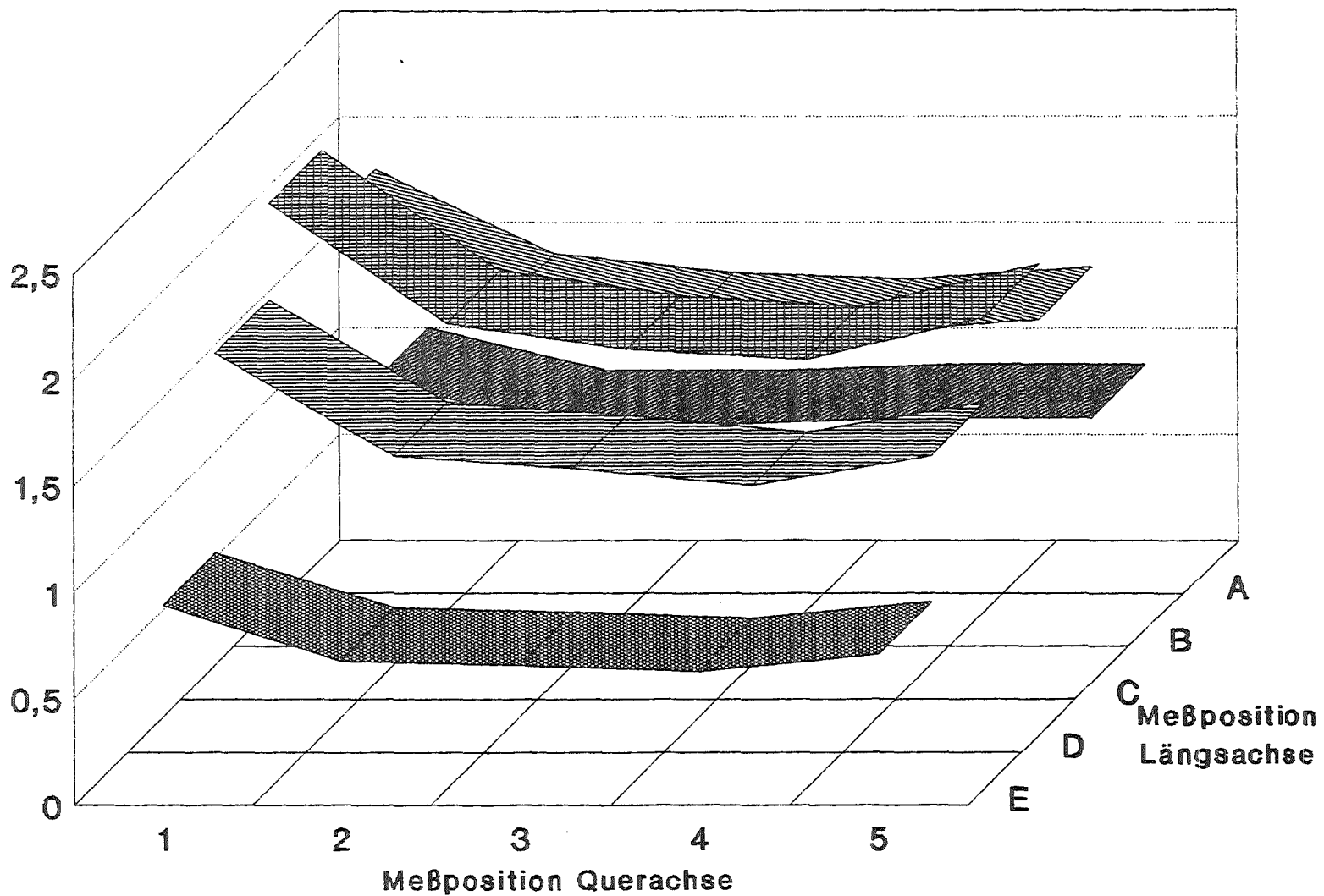


Abb. 4 Relative Meßkammerempfindlichkeit (Punkt-Strahler 10 cm unterhalb Meßgutoberkante)

# Rel.Meßkammerempfindlichkeit

mittlere Ebene ( Höhe 40 cm )

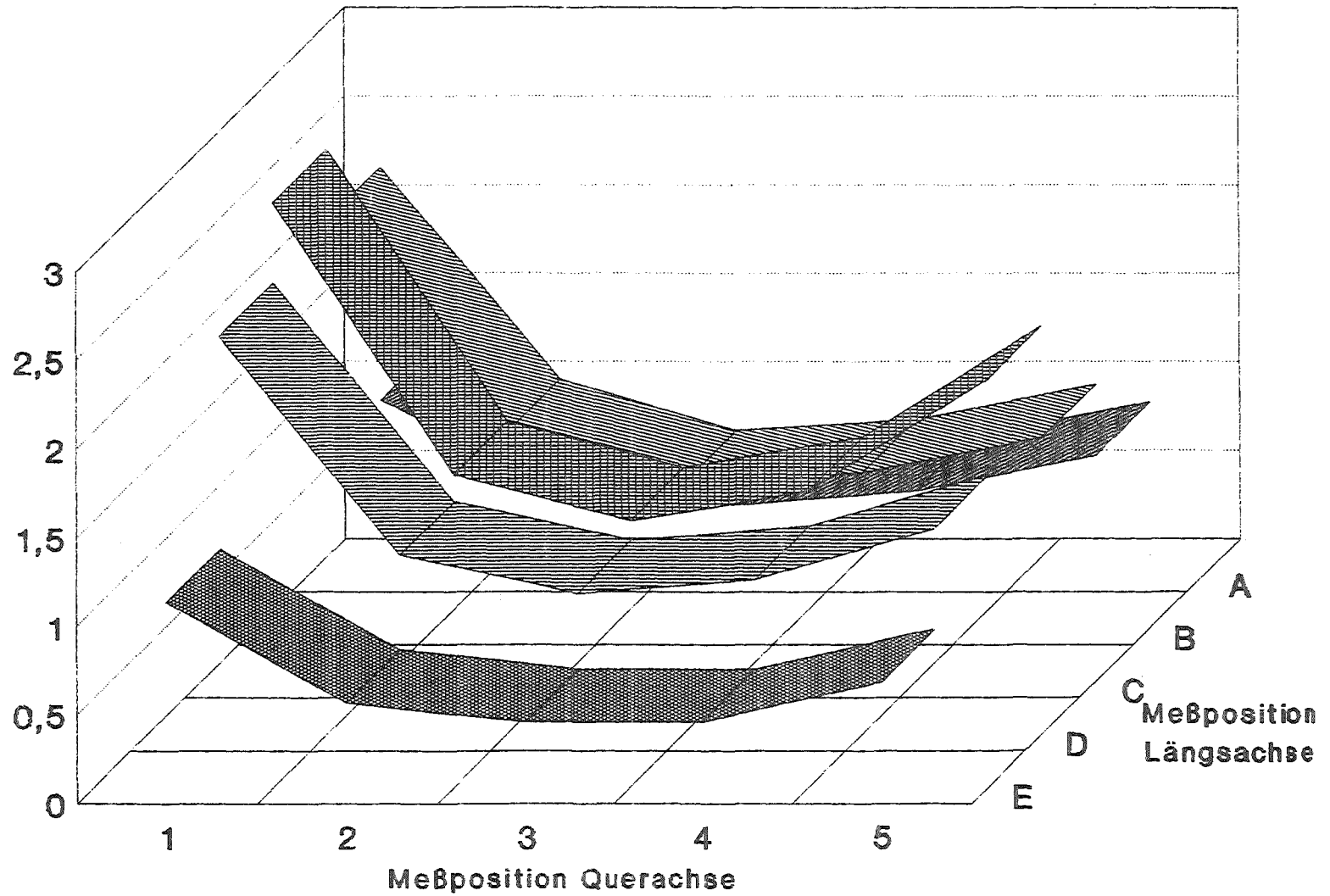


Abb. 5 Relative Meßkammerempfindlichkeit (Punkt-Strahler 40 cm Höhe entsprechend mittlere Ebene)



# Rel.Meßkammerempfindlichkeit

Untere Ebene ( Höhe 70 cm )

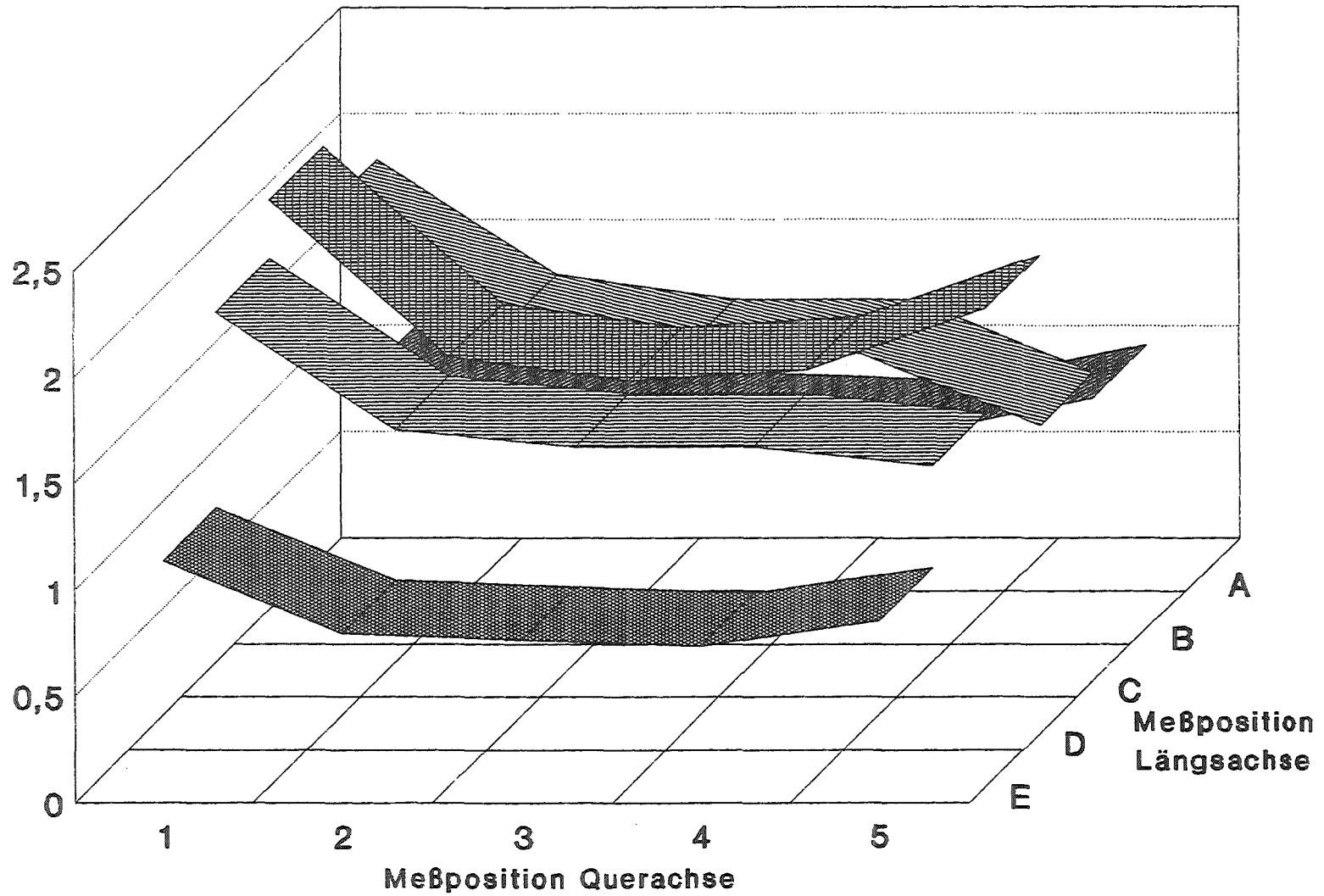


Abb. 6 Relative Meßkammerempfindlichkeit (Punkt-Strahler 10 cm oberhalb Meßgutunterkante)

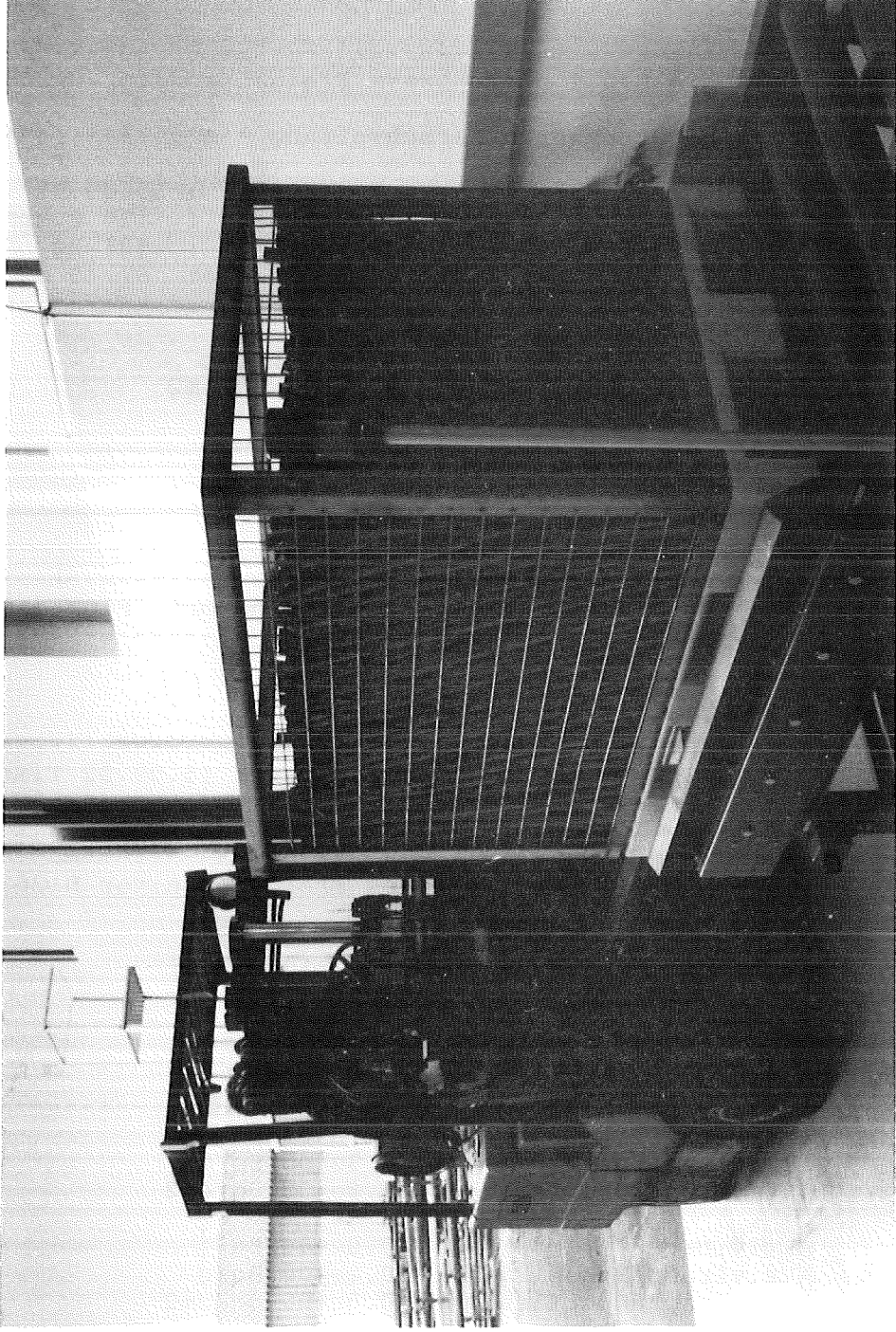


Abb. 7 Belade- bzw. Entladevorgang bei der Reststoffcharge G-93-0036

