



KFA

FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GmbH

Programmgruppe Technik und Gesellschaft

**Zerstörungsfreie Bestimmung
der Uran-235-Anreicherung in
Gasultrazentrifugen-Anreicherungsanlagen**

von

W.-D. Lauppe

B. Richter

G. Stein

Jül-Spez-554
Februar 1990
ISSN 0343-7639

Forschungszentrum Jülich, Spezielle Berichte Nr. 554
Programmgruppe Technik und Gesellschaft, Jüli-Spez-554

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK, Forschungszentrum Jülich GmbH
Postfach 19-13, D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)
Telefon: 02461/61-0, Telex: 833556 70 Krad, Telefax: 02461/61-6108

**Zerstörungsfreie Bestimmung
der Uran-235-Anreicherung in
Gasultrazentrifugen-Anreicherungsanlagen**

von

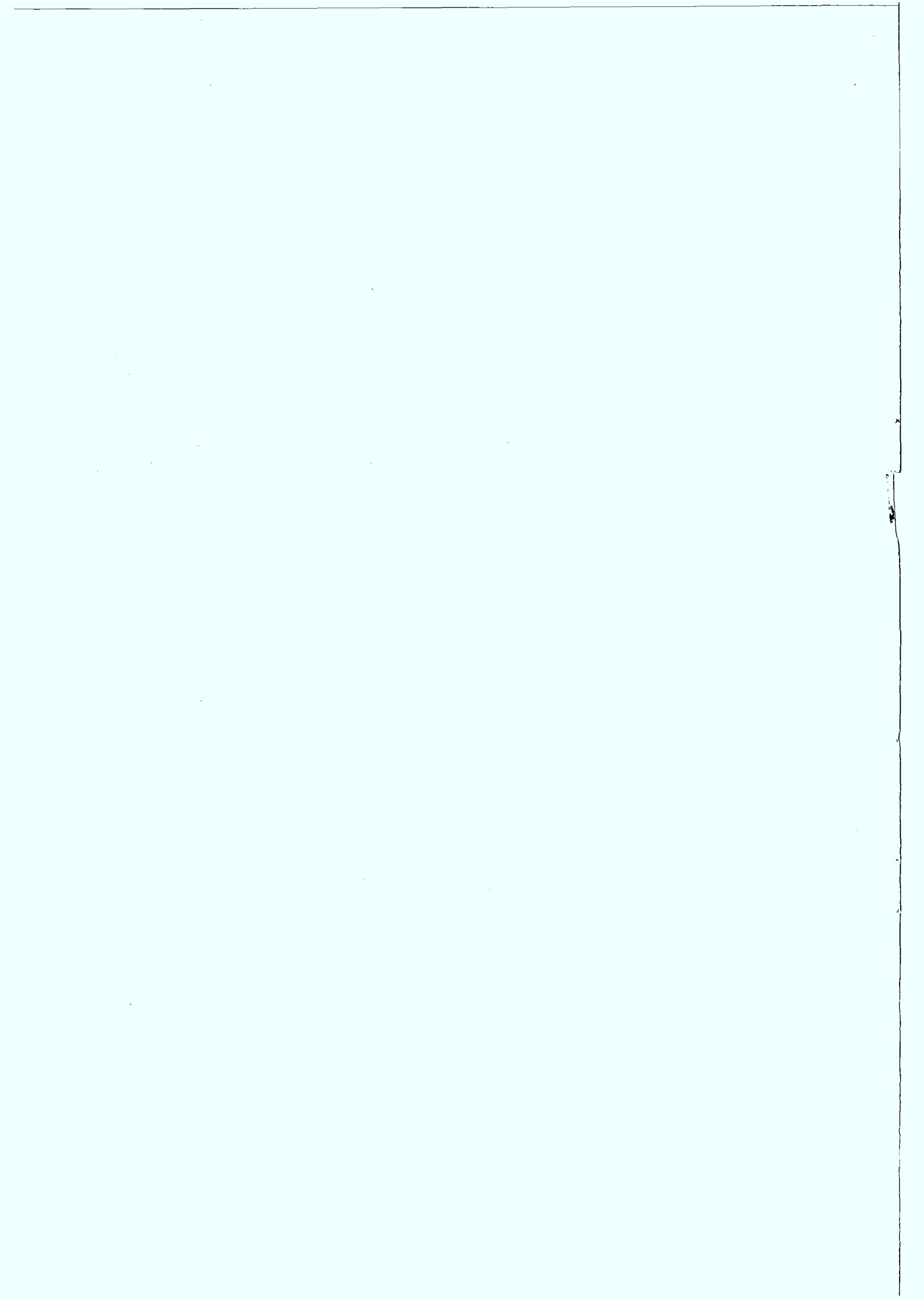
W.-D. Lauppe

B. Richter

G. Stein

BMFT-Auftrag Nr. ATT9204

Sicherungskontrollen bei GUZ-Anlagen



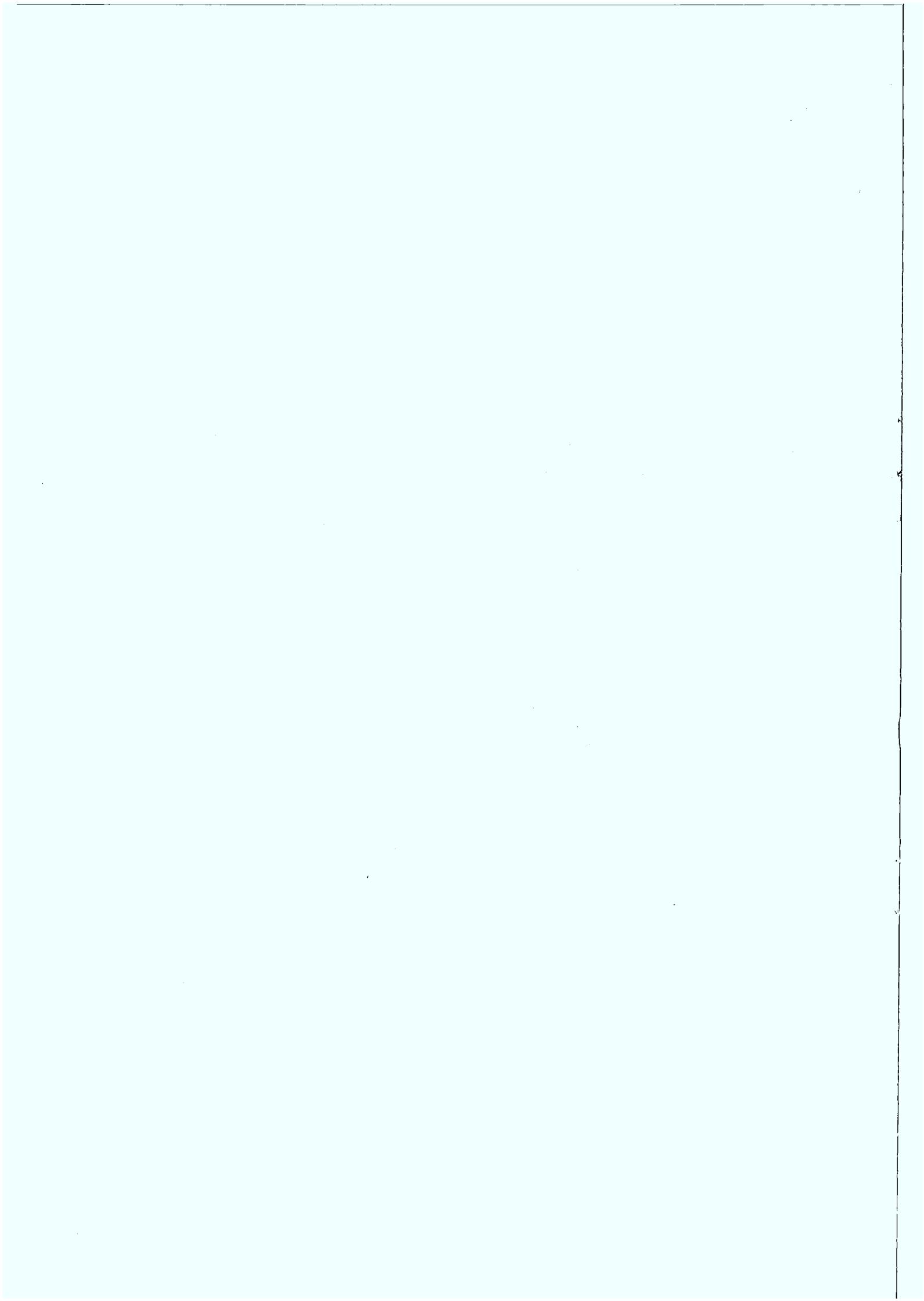
Vorwort

Die Grundlage für die internationale Kernmaterialkontrolle in Gasultrazentrifugen-Anreicherungsanlagen ist das Ergebnis des im Jahre 1983 abgeschlossenen Hexapartite Safeguards Project (H.S.P.). Danach haben die Inspektoren der IAEA im Rahmen des Limited Frequency Unannounced Access (LFUA) Modells den Zutritt zu den Trennhallen. Falls erforderlich sollen die Inspektoren in den Trennhallen zerstörungsfreie Meßtechniken einsetzen, um die vereinbarte Niedriganreicherung zu verifizieren. Gefordert ist nicht eine genaue quantitative Methode sondern eine reine ja-nein-Entscheidung.

Die Programmgruppe Technik und Gesellschaft der KFA Jülich, mit Unterstützung der Urenco, untersuchte mögliche zerstörungsfreie Meßtechniken auf ihre Anwendbarkeit. Dies geschah unter den Randbedingungen, die in den Anreicherungsanlagen von Almelo (NL) und Gronau herrschten.

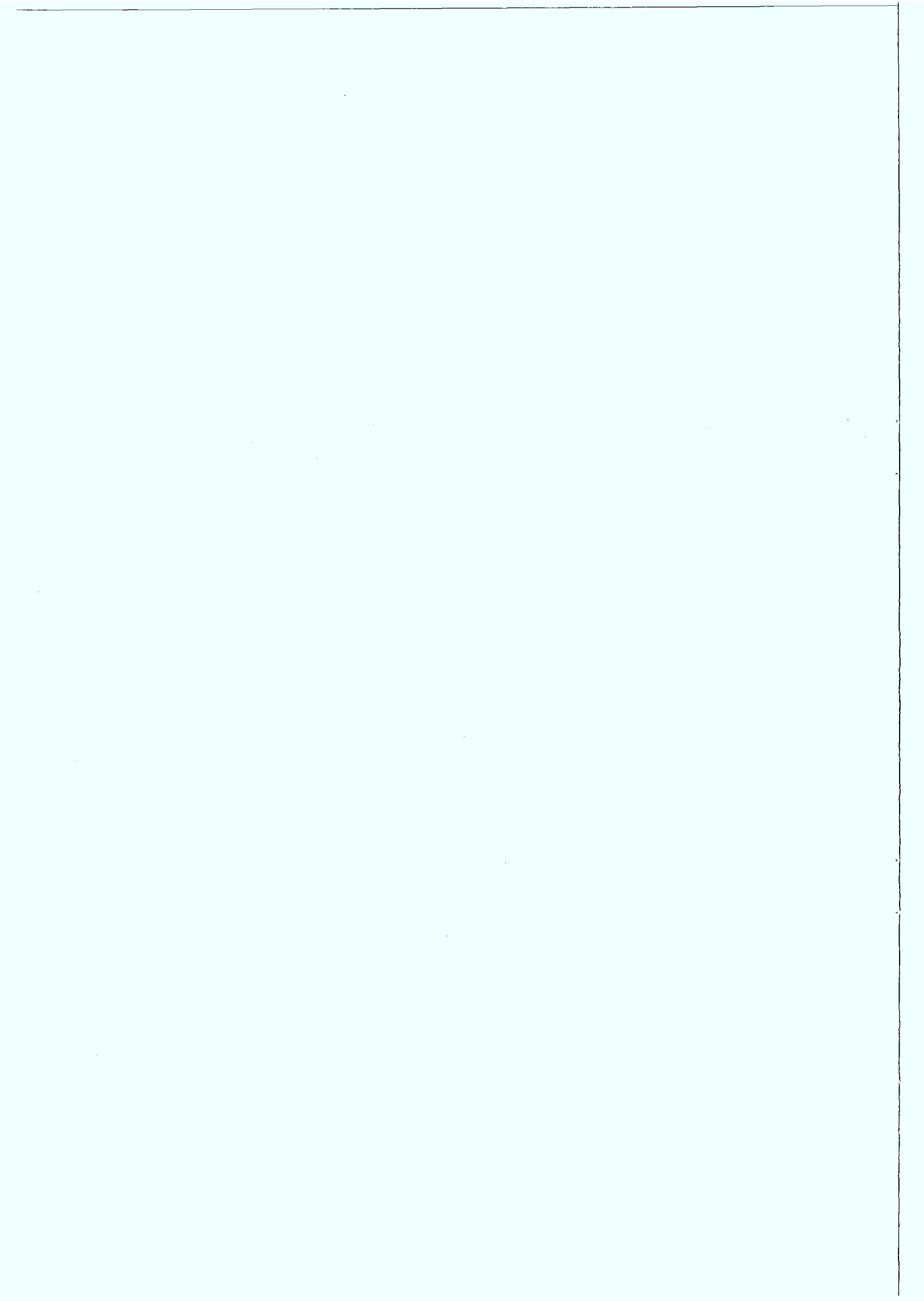
In internationalen Gremien waren hochauflösende γ -spektroskopische Verfahren für die Bestimmung der $^{235}\text{Uran}$ -Anreicherung von gasförmigem UF_6 vorgeschlagen worden. Daher war dies der Ausgangspunkt für Untersuchungen in der Anreicherungsanlage in Almelo (NL) im Jahre 1984. Daraus resultierte die Erkenntnis, daß eine γ -spektroskopische Messung allein nicht ausreicht, um zuverlässig die Anreicherung zu bestimmen. Die Meß- und Auswertemethoden wurden erweitert, um sie auf die spezifischen Randbedingungen der Anreicherungsanlagen in Gronau und Almelo abzustimmen und dort in den Jahren 1985 bis 1988 zu erproben. Die Einordnung der Arbeiten in das Unterstützungsprogramm der Bundesrepublik Deutschland für die IAEA ermöglichte eine intensive Diskussion der Ergebnisse mit der IAEA und den ehemaligen H.S.P.-Partnern, die sich ebenfalls weiterhin mit dem Problem beschäftigten.

Die Ergebnisse zeigen deutlich die Grenzen der einzelnen Meßmethoden unter den spezifischen Randbedingungen der Anlagen in Gronau und Almelo auf. Die Niedriganreicherung läßt sich trotz des Einsatzes der besten γ -Detektoren und sorgfältigsten Auswerteverfahren nicht in jedem Fall durch einfache ja-nein-Entscheidung verifizieren. Unüberwindliche systematische Fehler führen selbst an baugleichen Kaskaden zu Fehlinterpretationen.



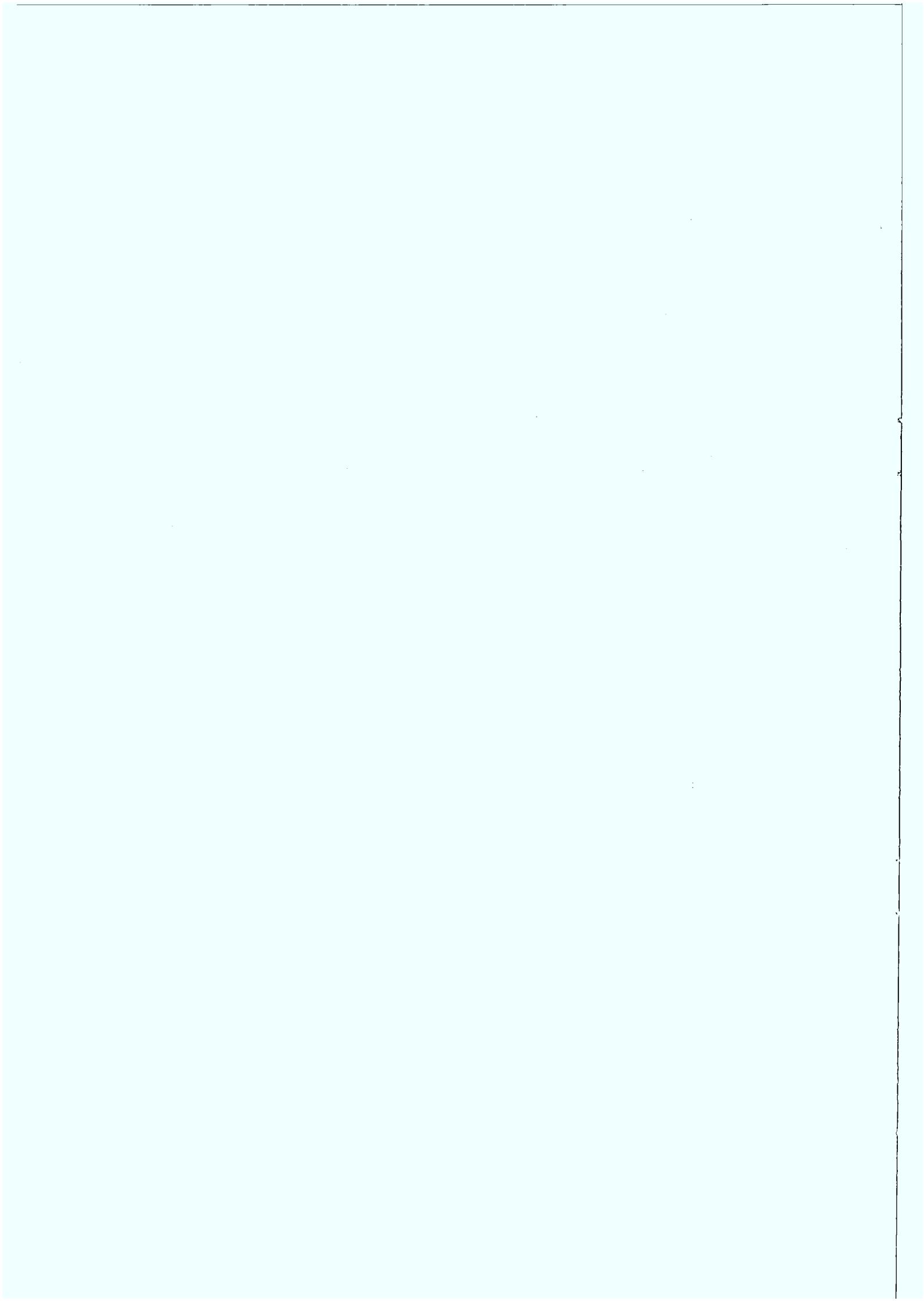
Inhaltsverzeichnis

1.0	Einleitung	1
2.0	Physikalische Grundlagen	3
3.0	Randbedingungen und Meßmethodenauswahl	7
4.0	Prinzip der Meßmethoden	9
4.1	Passive γ -Spektroskopie	9
4.2	Ablagerungs-Korrektur-Technik	10
4.3	Zwei-Geometrie-Technik	12
4.4	Messung der Dichte des Urans im Uranhexafluorid-Gas	13
5.0	Meßgeräte	15
6.0	Eichproblematik	21
7.0	Durchführung der Messungen	25
8.0	Ergebnisse und Diskussion	31
8.1	Ergebnisse in Almelo	31
8.2	Ergebnisse in Gronau	34
9.0	Schlußfolgerungen	43
10.0	Schrifttum	47
Anhang A. Kollimatorabschätzung		49
A.1	Kollimatoranordnung bei der Zwei-Geometrie-Technik	49
A.2	Betrachtung des Ablagerungsanteils der Gesamtstrahlung	50
Anhang B. Benutzeranleitung zur Meßdatendokumentation		59



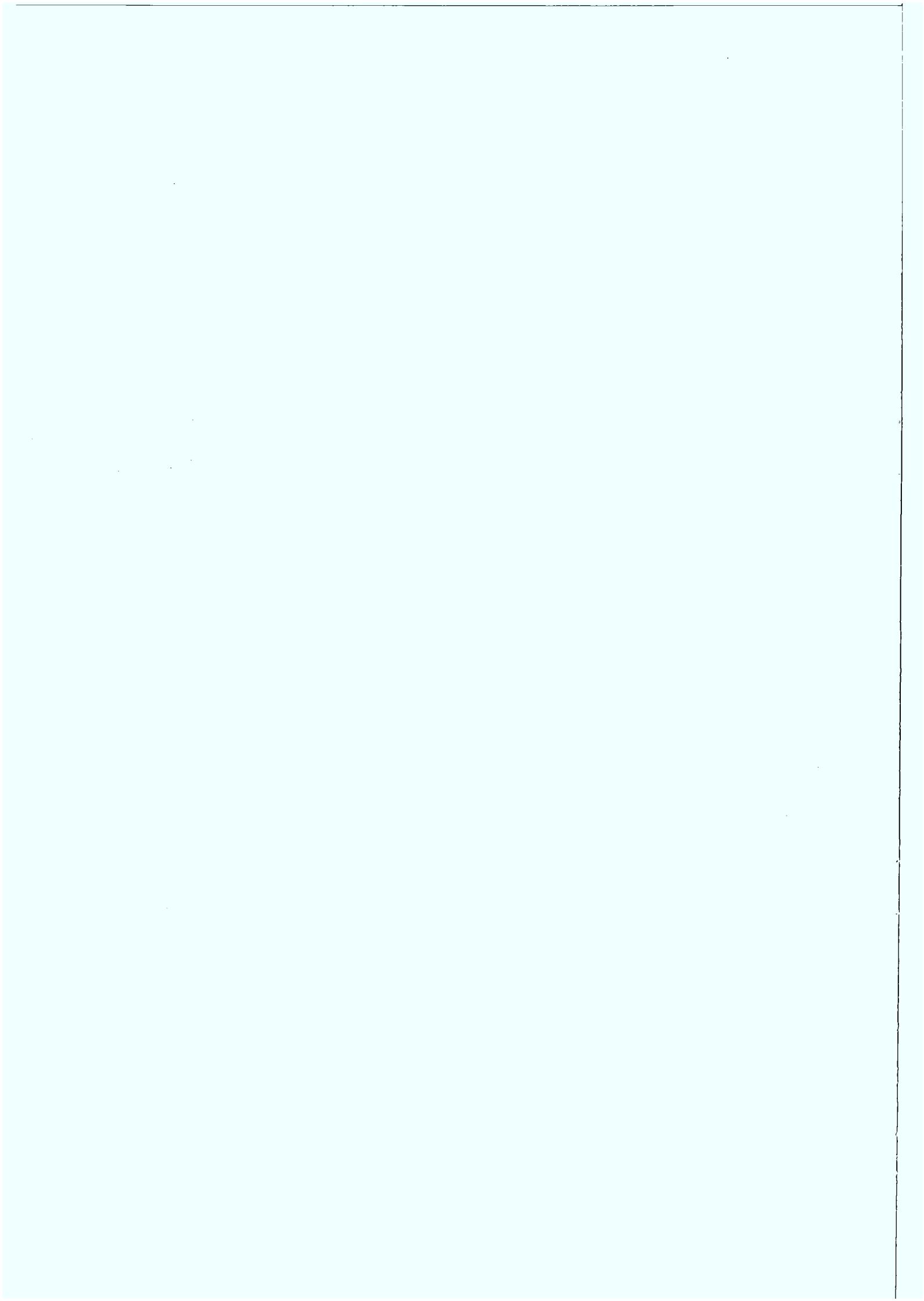
Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1. Blockschaltbild der Meßanordnung	15
Abb. 2. Querschnitt von Detektor und Abschirmung in bezug auf Produktrohr ..	17
Abb. 3. Schnitt durch die Röntgenfluoreszenzanordnung	19
Abb. 4. Meßposition an der Produktleitung	25
Abb. 5. Aufbau der Meßanordnung an der Produktleitung	26
Abb. 6. Verlauf der Zählraten in Almelo	32
Abb. 7. Verhältnisse relevanter γ -Übergänge	33
Abb. 8. Einzelzählraten in Gronau	35
Abb. 9. Ergebnisse der AKT in Gronau	37
Abb. 10. Ergebnisse der ZGT in Gronau	39
Abb. 11. Geometrie der Meßanordnung	50
Abb. 12. Wirksame Kollimator-Geometrie	51
Abb. 13. Bestimmung des Begrenzungswinkels für die Bereiche B1 und B2	52
Abb. 14. Bestimmung des Winkels φ für Bereich B1	53
Abb. 15. Bestimmung des Winkels φ für Bereich B1	54
Abb. 16. Bestimmung des Winkels φ für den Bereich B2	55
Abb. 17. Integrationsgrenzen für die Bestimmung des Gasanteils	57



Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1. Prinzipiell nutzbare γ -Übergänge	4
Tab. 2. Quellorte der prinzipiell verwendbaren γ -Strahlung	5
Tab. 3. Verwendete Reinstgermanium-Detektoren	16
Tab. 4. Durchgeführte Meßkampagnen	29
Tab. 5. Meßergebnisse in Almelo	34
Tab. 6. Meßergebnisse in Gronau	36
Tab. 7. ZGT-Ergebnisse in Gronau	38
Tab. 8. Gemessene Eichparameter für ZGT	40



1.0 Einleitung

Das Hexapartite Safeguardsprojekt (H.S.P.) beschäftigte sich in der Zeit 1980-82 mit Fragen der internationalen Kernmaterialkontrollen in Uran-Anreicherungsanlagen der Zentrifugentechnik. Ausgangspunkt für die im Rahmen des Förderungsvorhabens durchzuführenden Arbeiten waren die Ergebnisse des H.S.P.. Das H.S.P. hatte das Ziel, in gemeinsamen Diskussionen zwischen den Technologiehaltern der Gasultrazentrifugentechnik einerseits und den Inspektoraten von IAEA und EURATOM andererseits eine für beide Seiten akzeptable Lösung des Überwachungsproblems von Gasultrazentrifugen-Anreicherungsanlagen zu finden. Im Konsens aller Beteiligten wurden folgende Forderungen formuliert:

1. Der Safeguardsinspektor sollte das Recht auf einen in der Häufigkeit eingeschränkten unangemeldeten Zugang zum Kaskadenbereich haben. Dieses Modell wurde auch als "Limited Frequency Unannounced Access"- (LFUA)-Modell bezeichnet.
2. Der Inspektor sollte erforderlichenfalls das Recht haben, im Rahmen der LFUA-Inspektionen zerstörungsfreie Meßmethoden (NDA) im Kaskadenbereich anzuwenden.

Unter zerstörungsfreier Meßmethode (englisch: non-destructive assay, NDA) ist im vorliegenden Zusammenhang eine Meßtechnik zu verstehen, die keine durch Eingriffe von außen bewirkte Änderung der Qualität und Quantität des Meßobjektes hervorruft. Die Entnahme einer Probe zu Meßzwecken und deren anschließende Rückführung in das System soll daher nicht betrachtet werden.

Die Häufigkeit dieser Inspektionen und die Zeitdauer einer Einzelinspektion sollte sich an der Anlagenkapazität orientieren.

Das Ziel der NDA-Messungen sollte der Nachweis sein, daß sich ausschließlich niedrig angereichertes Uran im Kaskadenbereich befindet. In den folgenden Diskussionen mit der IAEA wurde diese Forderung weiter präzisiert: Auf der Grundlage der Meßergebnisse sollte eine ^{235}U -Anreicherung unter 20 % in Form einer ja/nein-Aussage bestätigt werden.

Eine geeignete NDA-Methode sollte den Anforderungen sowohl der Anlagenbetreiber als auch der Inspektorate gerecht werden. Von Seiten der Anlagenbetreiber wurde die Forderung erhoben, den normalen Anlagenbetrieb nicht durch die Messungen zu behindern und den UF_6 -Gasdruck in den Prozeßleitungen als kommerziell schutzwürdige Größe zu behandeln. Die Inspektorate hingegen wollten eine möglichst einfache Meßmethode anwenden, die in kurzer Meßzeit zu aussagekräftigen Ergebnissen führt, da eine große Anzahl von Rohrleitungen verifiziert werden mußte.

Im Laufe der folgenden Diskussionen mit der IAEA sowie mit Forschergruppen in anderen Technologiehalterstaaten, insbesondere in Großbritannien, den Niederlanden und den USA wurde darin Übereinstimmung erzielt, daß eine gammaskopische Meßmethode für die Anreicherungsbestimmung am besten geeignet ist.

Einige der Randbedingungen für die Durchführung des Vorhabens waren schon in vorgelaufenen Messungen in Almelo/Niederlande in Umrissen erkennbar geworden. Diese Messungen wurden mit nicht optimal angepaßten Geräten durchgeführt und hatten im wesentlichen orientierenden Charakter. Die Ergebnisse zeigten jedoch, daß eine einfache γ -spektroskopische Messung allein nicht ausreicht, die gewünschte safeguardsrelevante Information zu erhalten. Außerdem wurde schon zu diesem Zeitpunkt die Abhängigkeit der Qualität der Meßergebnisse von den speziellen Randbedingungen in einer bestimmten Anlage deutlich. Die Anwendbarkeit einer Meßtechnik in einer Anlage ließ sich nicht generell auf andere Anlagen mit unterschiedlichen Prozeßparametern übertragen.

Im weiteren Verlauf der Diskussionen wurde Übereinstimmung darin erzielt, daß eine safeguardsrelevante Aussage aufgrund der Meßergebnisse nur dann möglich ist, wenn an den einzelnen Produktleitungen, die jede Kaskade mit der Hallenheaderleitung verbinden, gemessen wird.

Aufgrund ähnlicher Untersuchungen in den USA und in Großbritannien wurden von der IAEA zwei γ -spektroskopische Techniken propagiert, die in der Zentrifugenanlage von Capenhurst/Großbritannien mit Erfolg erprobt worden waren. Die Übertragbarkeit dieser Methoden auf die Anlagen von Almelo und Gronau wurde von der IAEA ohne Kenntnis der spezifischen Anlagenparameter in Almelo und Gronau vorausgesetzt.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden die vorgeschlagenen γ -spektroskopischen Meßverfahren auf ihre Anwendbarkeit in der GUZ-Anlage in Gronau untersucht und weiterentwickelt. Die Untersuchungen erfolgten im Rahmen der Task C.14.7 des gemeinsamen FE-Programms von IAEA und BMFT. Zu Beginn des Fördervorhabens war die Anlage in Gronau noch nicht in Betrieb. Daher wurden die Messungen anfangs in Almelo durchgeführt, wo ähnliche Anlagenbedingungen herrschten wie in Gronau.

Der vorliegende Bericht beschreibt die grundlegenden Probleme, die im Hinblick auf die zerstörungsfreie Bestimmung der ^{235}U -Anreicherung unter den speziellen Randbedingungen in Almelo und Gronau auftreten. Anhand der Meßergebnisse wird gezeigt, daß die Anwendbarkeit der Meßtechniken begrenzt ist trotz der Anpassung an die Gegebenheiten in Almelo und Gronau. Eine eindeutige ja/nein-Aussage zugunsten niedrig angereicherten Urans ist, unabhängig von der angewandten Technik, besonders an Produktleitungen mit extremen Randbedingungen nicht immer zuverlässig möglich.

2.0 Physikalische Grundlagen

In Gasultrazentrifugen-Anreicherungsanlagen (GUZ-Anlagen), wie z.B. in Gronau und Almelo, wird die Konzentration des Isotops ^{235}U gegenüber der Konzentration im natürlichen Uran für den Gebrauch in kommerziellen Leichtwasserreaktoren erhöht. Uran liegt dabei chemisch gebunden in Form von Uranhexafluorid (UF_6) vor, einer reaktionsfreudigen Verbindung, die sich bei Umgebungstemperatur und Normaldruck in festem Zustand befindet. Der Trennprozeß erfordert jedoch UF_6 in gasförmigem Zustand, der durch Verdampfen des festen UF_6 -Ausgangsmaterials (Feed) in ein vorher evakuiertes Prozeßsystem erreicht und durch Einstellung eines niedrigen Druckes bei Umgebungstemperatur bis zur Ausspeisung der getrennten Fraktionen aufrechterhalten wird. Die unter Safeguardsgesichtspunkten interessante, mit ^{235}U angereicherte Gasfraktion strömt in einem geschlossenen Leitungssystem bei niedrigen Drucken von den Trennelementen zu einem Sammelbehälter.

Für zerstörungsfreie Meßmethoden zu Safeguardszwecken ist in erster Linie die in Verbindung mit dem radioaktiven Zerfall der Uranisotope emittierte, nuklidspezifische Strahlung von Interesse. Im UF_6 -Gas sind die drei Uranisotope ^{235}U , ^{238}U und ^{234}U in der jeweiligen durch den Anreicherungsgrad bestimmten Konzentration enthalten. Alle 3 Uranisotope zerfallen unter Aussendung von α -Strahlung. ^{234}U ist nur zu einem geringen Anteil vorhanden, wird aber im Anreicherungsprozess zusammen mit ^{235}U angereichert und hat aufgrund seiner kurzen Halbwertszeit die höchste spezifische α -Aktivität aller drei Uranisotope. Dies ist wichtig im Zusammenhang mit der Neutronenemission des Uranhexafluorids, die durch Reaktion der α -Teilchen mit Fluor in Form einer (α -n)-Reaktion hervorgerufen wird. Zusätzlich entstehen noch Neutronen durch Spontanspaltung von ^{238}U . Die Neutronenemission soll jedoch in diesem Zusammenhang nicht weiter diskutiert werden, da die Uranmassen und damit auch die Neutronenemission in den für eine Messung zugänglichen Produktleitungsstücken von GUZ-Anlagen prozessbedingt sehr gering sind.

Die α -Strahlung der Uranisotope ist mit Oberflächensperrschichtdetektoren meßbar und ermöglicht eine einfache Anreicherungsbestimmung, da praktisch jeder Zerfall mit der Emission eines α -Teilchens verbunden ist. Die kurze Reichweite der α -Strahlung macht es jedoch erforderlich, UF_6 -Proben zu entnehmen und speziell für eine Messung zu präparieren. Alternativ könnte auch eine "In-Line"-Messung der α -Strahlung durchgeführt werden, d.h. die Detektoren müßten in die UF_6 -Gas führenden Leitungen eingebaut werden, oder in eine entsprechende Bypassleitung, mit der Folge einer ständigen oder zeitweisen Einwirkung einer aggressiven UF_6 -Atmosphäre, in der die Lebensdauer der Detektoren begrenzt ist. Entsprechende Untersuchungen wurden auch mit speziell für diesen Anwendungszweck ausgesuchten Detektoren durchgeführt, mit dem Ergebnis einer innerhalb weniger Tage eintretenden Zerstörung der Detektoren.

Beim Zerfall der Uranisotope wird in Begleitung der α -Strahlung auch γ -Strahlung ausgesandt. Jedoch nur beim ^{235}U ist die Intensität der emittierten γ -Strahlung ausreichend, daß sie mit den z.Zt. verfügbaren Halbleiterdetektoren mit hoher Genauigkeit bestimmt werden kann. Außerdem liegt ihre γ -Energie in einem Bereich, der in der Rohrwand nur eine geringe Intensitätsabschwächung erfährt. ^{238}U emittiert nur γ -Strahlung sehr niedriger Intensität sowie geringer Energie, bei der schon eine deutliche Intensitätsabschwä-

chung in der Rohrleitungswand erfolgt. Andererseits emittieren die Zerfallsprodukte von ^{238}U und ^{235}U , die Thoriumisotope ^{234}Th und ^{231}Th in Begleitung des β -Zerfalls γ -Strahlung, die in einem der Messung gut zugänglichen Energie- und Intensitätsbereich liegt. Da die Halbwertszeiten der Thoriumisotope kürzer sind als die Halbwertszeiten der entsprechenden Uranisotope, stellt sich zwischen der Anzahl der Thoriumatome und der Anzahl der Uranatome sowie dementsprechend auch zwischen der Anzahl der jeweiligen Zerfälle radioaktives Gleichgewicht ein. Voraussetzung ist ein abgeschlossenes System, in welchem die entstehenden Thoriumatome nicht aufgrund ihrer andersartigen chemischen und physikalischen Eigenschaften räumlich vom UF_6 -Gas separiert werden und die Anzahl der Uranatome abgesehen vom radioaktiven Zerfall konstant bleibt. Die Zeitdauer bis zur Einstellung des radioaktiven Gleichgewichts hängt von der Halbwertszeit der kürzerlebigen Thoriumisotope ab. Nach mindestens fünf Halbwertszeiten ist annähernd radioaktives Gleichgewicht erreicht. Die Halbwertszeit von ^{234}Th beträgt 24,1 Tage und diejenige von ^{231}Th 25,52 Stunden. Das bedeutet, daß sich nach 120 Tagen ^{234}Th und nach ca. 5 Tagen ^{231}Th praktisch im radioaktiven Gleichgewicht mit dem entsprechenden Uranisotop befindet. Im Gleichgewichtsfall ist die Quantität der emittierten γ -Strahlung des ^{234}Th ein Maß für die Anzahl der vorhandenen ^{238}U -Atome und diejenige des ^{231}Th ein Maß für die Anzahl der ^{235}U -Atome. Als Folgeprodukt von ^{234}Th emittiert noch das Protactiniumisomer ^{234m}Pa γ -Strahlung, die in einem gut meßbaren Energie- und Intensitätsbereich liegt. ^{234m}Pa hat eine Halbwertszeit von 1,17 Minuten und ist sehr schnell im radioaktiven Gleichgewicht mit seinem Mutternuklid ^{234}Th . Im Gleichgewichtsfall ist demnach auch die emittierte Intensität dieser γ -Strahlung ein Maß für die Anzahl ^{238}U -Atome.

Die für die gestellte Aufgabe im Prinzip verwertbaren γ -Übergänge sind mit ihren Emitternukliden, den entsprechenden Halbwertszeiten, den Energien und den auf die Anzahl der Zerfälle normierten Intensitäten in der folgenden Tabelle 1 zusammengestellt.

Zerfall	Halbwertszeit	Energie in keV	γ -Emission in % der Zerfälle
$^{235}\text{U} \xrightarrow{\alpha} ^{231}\text{Th}$	$703,8 \times 10^6 \text{ a}$	185,715	57,5
$^{234}\text{Th} \xrightarrow{\beta} ^{234m}\text{Pa}$	24,1 d	63,29	3,81
		92,38	2,73
		92,80	2,69
$^{231}\text{Th} \xrightarrow{\beta} ^{231}\text{Pa}$	25,52 h	84,214	6,5
$^{234m}\text{Pa} \xrightarrow{\beta} ^{234}\text{U}$	1,17 m	1001	0,589

Tab. 1. Prinzipiell nutzbare γ -Übergänge

Die im Zusammenhang mit den Übergängen emittierte Strahlung wird von räumlich unterschiedlich verteilten Ablagerungen auf den Wänden der Rohrleitungen emittiert.

Nur die γ -Strahlung des ^{235}U von 185,72 keV wird sowohl vom Gas als auch von den Ablagerungen ausgesandt. Die Quellorte der einzelnen Strahlungen sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Zerfall	Energie in keV	UF_6 -Gas	Ablagerungen
$^{235}\text{U} \xrightarrow{\alpha} ^{231}\text{Th}$	185,72	ja	ja
$^{234}\text{Th} \xrightarrow{\beta} ^{234\text{m}}\text{Pa}$	63,29	nein	ja
	92,38	nein	ja
	92,80	nein	ja
$^{231}\text{Th} \xrightarrow{\beta} ^{231}\text{Pa}$	84,214	nein	ja
$^{234\text{m}}\text{Pa} \xrightarrow{\beta} ^{234}\text{U}$	1001	nein	ja

Tab. 2. Quellorte der prinzipiell verwendbaren γ -Strahlung

Die an einem durch einen Kollimator exakt definierten Produktleitungsabschnitt gemessene γ -Strahlungsintensität des ^{235}U mit einer Energie von 185,72 keV steht in einem linearen Zusammenhang mit der Anzahl der in diesem Rohrabschnitt vorhandenen ^{235}U -Atome, gebunden an entsprechende Fluoratome. Eine Aussage über die Anreicherung ist aber nur möglich, wenn die Anzahl der gleichzeitig in diesem Produktleitungsabschnitt vorhandenen ^{238}U -Atome bestimmt werden kann. Da ^{238}U selbst keine γ -Strahlung emittiert, ist eine Bestimmung der Anzahl der ^{238}U -Atome nur indirekt über die Intensität der von ^{234}Th emittierten γ -Strahlung möglich. Der lineare Zusammenhang dieser Intensität mit der Anzahl der ^{238}U Atome besteht jedoch nur, wenn sich radioaktives Gleichgewicht zwischen ^{238}U und ^{234}Th eingestellt hat. Aus früheren Messungen ist bekannt, daß sich dieses Gleichgewicht im UF_6 -Gas nicht einstellen kann, da die durch den Zerfall von Uran entstehenden Thoriumisotope unter den in GUZ-Anlagen vorherrschenden Prozeßbedingungen mit dem Fluor nicht flüchtige Verbindungen eingehen und sich an den Rohrwänden niederschlagen, also nicht im Gasstrom bleiben. Die gemessene Strahlung kann, wenn das Gasvolumen und die Rohrwand als getrennte Systeme betrachtet werden, niemals im radioaktiven Gleichgewicht sein, da nach dem Zerfall der Urankerne sofort eine räumliche Separierung der Zerfallsprodukte erfolgt. Betrachtet man jedoch das Gasvolumen und die Rohrwand in bezug auf die gemessene γ -Strahlung als ein Gesamtsystem, was unter bestimmten, später noch zu diskutierenden Voraussetzungen auch möglich ist, so kann sich radioaktives Gleichgewicht zwischen dem Uran im Gasstrom und dem Thorium an der Rohrwand angenähert einstellen, wenn die ^{235}U -Konzentration und Urandichte im Gas sowie die Thoriumablagerungen an der Rohrwand bis zur Einstellung des Gleichgewichtes zeitlich stabil waren bzw. räumlich gleichmäßig erfolgten. Unter diesen idealen Bedingungen ist durch Messung der 185,72

keV-Strahlung des ^{235}U und z.B. der 63,29 keV-Strahlung des ^{234}Th eine Anreicherungsbestimmung des Urans im UF_6 -Gas möglich.

Diese idealen Bedingungen liegen aber in realen Prozeßleitungen niemals vor. Durch verschiedene Mechanismen erfolgen auch chemische Reaktionen des UF_6 -Gases mit der Oberfläche der Rohrwand, mit Verunreinigungen auf der Wandoberfläche, Verunreinigungen des UF_6 -Gases, wie z.B. Wasser, oder auch durch nicht auszuschließende Leckagen im Rohrleitungssystem. Der Nettoeffekt ist eine stabile Ablagerung von nicht flüchtigen Uranverbindungen an der Wandoberfläche. Die Ablagerungsrate ist am größten in der ersten Zeit nach der Inbetriebnahme der Anlage, sie nimmt mit zunehmender Betriebsdauer stark ab, solange keine Leckagen in den Prozeßleitungen auftreten.

Diese Art von Ablagerung besteht aus Uranverbindungen und emittiert deshalb γ -Strahlung sowohl von ^{235}U als auch von den aus den Uranisotopen durch radioaktiven Zerfall entstehenden Thoriumisotopen.

Die Eigenschaften dieser Uranablagerungen und ihre Entstehungsweisen wurden ausgiebig untersucht, sind aber für die Praxis zerstörungsfreier Messungen an den Produktrohrleitungen in realen GUZ-Anlagen wenig hilfreich, da sich ihre Quantität und ihre Eigenschaften nicht vorhersagen lassen. Das Ausmaß dieser Ablagerungen, d.h. die Massenbelegung nichtflüchtiger Uranverbindungen an der Rohrleitungswand hängt von der individuellen Vorgeschichte einer jeden Kaskade ab und kann auch bei sonst gleichen Kaskadenverrohrungen unvorhersehbar unterschiedlich sein. Obwohl diese Ablagerungen nach der Inbetriebnahmephase relativ stabil bleiben, d.h. nicht mehr stark zunehmen, können Änderungen auch in der späteren Betriebszeit nicht ausgeschlossen werden. Mögliche Ursachen können das Auftreten oder die Beseitigung von kleinen Leckagen oder Änderungen in den Fremdgasanteilen sein. Werden nacheinander unterschiedliche Anreicherungsgrade des Produktstromes erzeugt, kann sich die Anreicherung des Gases von derjenigen der Ablagerungen unterscheiden.

Die Auswirkungen der Ablagerungen auf die Ergebnisse der Anreicherungsmessungen hängen stark von den spezifischen Anlagenparametern ab, insbesondere vom UF_6 -Gasdruck und Leitungsdurchmesser. Bei niedrigen UF_6 -Gasdrücken kann die von den Ablagerungen emittierte γ -Strahlung in der Intensität ein Vielfaches der von Gas emittierten Intensität erreichen.

3.0 Randbedingungen und Meßmethodenauswahl

Ein Detektor in Verbindung mit einem Kollimator definiert einen begrenzten Raumwinkelbereich. Bei Messungen an UF_6 -Prozeßleitungen wird dadurch ein Leitungsabschnitt räumlich exakt limitiert. Die Anzahl der in diesem Leitungsabschnitt vorhandenen ^{235}U -Atome ist durch den UF_6 -Gasdruck und durch die Konzentration oder Anreicherung des ^{235}U gegeben. Die Intensität der gemessenen 185,72 keV γ -Strahlung ist also proportional zur ^{235}U -Anreicherung und zum Druck des UF_6 -Gases. Zur Bestimmung der Anreicherung genügt demnach im Idealfall die Messung der 185,72 keV γ -Intensität und des Druckes des UF_6 -Gases.

Die ersten orientierenden Messungen in Almelo haben jedoch gezeigt, daß nur der geringere Teil der 185,72 keV-Strahlung des ^{235}U vom UF_6 -Gas emittiert wird. Der größte Anteil dieser Strahlung wird von Ablagerungen an der inneren Wandoberfläche der Produktleitungen emittiert. Zur Bestimmung der Anreicherung des ^{235}U in der Gasphase ist es deshalb notwendig, zwischen den Anteilen der vom Gas und von den Ablagerungen emittierten 185,72 keV-Strahlung zu diskriminieren. Dies ist nur möglich, wenn bestimmte idealisierende Annahmen über die Beschaffenheit der Ablagerungen gemacht werden. Inwieweit diese Annahmen zutreffen, zeigt sich an den später zu diskutierenden Meßergebnissen.

Angenommen, die Uran- und Thoriumverbindungen würden sich nicht ablagern sondern im Gasstrom verbleiben, so gäbe es im Prinzip zwei Möglichkeiten, die ^{235}U -Anreicherung im Gas zu bestimmen:

1. Die 185,72 keV-Intensität wird gleichzeitig mit einem γ -Übergang bestimmt, dessen Intensität proportional zur Anzahl der im Gas vorhandenen ^{238}U -Atome ist, oder
2. die γ -Messung der 185,72 keV-Intensität wird mit einer zusätzlichen Dichtemessung des Urans im Gas verknüpft.

Die erste Möglichkeit wird stark eingeschränkt, da ^{238}U keine meßbare γ -Strahlung emittiert. Dagegen emittiert dessen Zerfallsprodukt ^{234}Th γ -Strahlung in einem gut meßbaren Energiebereich. Die gemessenen Intensitäten der 185,72 keV γ -Strahlung und der ^{234}Th γ -Strahlung liefern aber nur dann eine Aussage über die ^{235}U -Anreicherung, wenn das ^{238}U im radioaktiven Gleichgewicht mit seinem Zerfallsprodukt ^{234}Th vorliegt, d.h. wenn genau soviel ^{234}Th zerfällt wie durch den Zerfall des ^{238}U entsteht. Unter der eingangs gemachten hypothetischen Voraussetzung könnte sich dann im Laufe der Zeit auch im Gasstrom radioaktives Gleichgewicht einstellen.

In der Realität lagern sich die entstehenden Thoriumverbindungen jedoch an der Rohrwand ab. Wie schon vorher angesprochen, stellt UF_6 -Gas, das in einer Rohrleitung strömt, für sich allein kein radioaktives Gleichgewichtssystem dar. Ausschließlich das Gesamtsystem Uran im Gasstrom und Thorium als Ablagerung an der Rohrwand kann sich im radioaktiven Gleichgewicht befinden, wenn sich das Thorium in Form seiner nichtflüchtigen Fluoride vollständig und gleichmäßig an der Wand ablagert. Es ist weiterhin notwendig, daß sowohl die Urandichte im Gasstrom oder bei konstanter Temperatur der Gasdruck als auch die ^{235}U -Gasanreicherung mindestens fünf ^{234}Th -Halbwertszeiten lang unverändert blieb.

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, so kann die relative Häufigkeit der ^{235}U -Atome bezogen auf die Häufigkeit der ^{234}Th -Atome, was gleichbedeutend mit der Anreicherung des ^{235}U im Gasstrom ist, bestimmt werden.

Im zweiten Fall würde die Gesamtmasse des Urans im beobachteten Gasvolumen unabhängig gemessen und der relative Anteil des ^{235}U im gleichen Gasvolumen durch Bestimmung der ^{235}U -Strahlungsintensität ermittelt. Aus den Meßergebnissen kann die ^{235}U -Anreicherung im Gasstrom berechnet werden.

Wesentlich komplizierter wird die Situation durch das Auftreten zusätzlicher Uranablagerungen an der Rohrwand, da diese wie das Gas ^{235}U enthalten und daher γ -Strahlung der gleichen Energie emittieren. In den GUZ-Anlagen von Almelo und Gronau liefern die Beiträge dieser Uranablagerungen zur gemessenen Gesamtstrahlungsintensität ein Vielfaches der Strahlungsintensität des Gasstromes. Untersuchungen in den USA und Großbritannien führten zu gegenteiligen Ergebnissen. Dieser Widerspruch läßt darauf schließen, daß in Almelo und Gronau nicht die Ablagerungen absolut gesehen höher sind, sondern die Randbedingungen bezüglich Gasdruck und Rohrleitungsdurchmesser von denjenigen der Anlagen in den USA und in Großbritannien abweichen. Da der Gasdruck eine sensitive Größe ist und vom Anlagenbetreiber nicht mitgeteilt wird, kann dieser Schluß nur durch Vergleich der Meßergebnisse und der Meßzeiten in den verschiedenen Anlagen gezogen werden.

Sowohl Uran, das sich an der Rohrwand ablagert, als auch sein Zerfallsprodukt Thorium liegen in Form von stabilen Verbindungen vor. Sie tragen deshalb auch sehr wesentlich zur Strahlungsintensität des ^{235}U und des ^{234}Th bei. Daraus ergibt sich die Schwierigkeit, zwischen den Beiträgen des Gases und der Ablagerungen zur 185,72 keV-Strahlung zu diskriminieren. Die Massenbelegung der Uranablagerungen ist nicht voraussagbar und unterscheidet sich nicht nur von Anlage zu Anlage, sondern auch von Kaskade zu Kaskade innerhalb einer Kaskadenhalle. Diese Randbedingungen beeinflussen die aus den Meßwerten zu ziehenden Schlüsse ganz wesentlich und machen aus einer zunächst einfach erscheinenden Meßmethode ein relativ kompliziertes Verfahren.

Zusammenfassend sind die folgenden Randbedingungen für die Auswahl eines geeigneten Meßverfahrens entscheidend:

1. Die relative Menge des ^{238}U ist nur indirekt aus der Intensität der γ -Strahlung des Zerfallsproduktes ^{234}Th bestimmbar. Dies impliziert die Forderung nach Einstellung radioaktiven Gleichgewichts zwischen ^{238}U und ^{234}Th .
2. Die Zerfallsprodukte der Uranisotope im Gas lagern sich an der Rohrwand ab.
3. Zusätzlich bilden sich stabile, qualitativ und quantitativ nicht voraussagbare Ablagerungen von nicht flüchtigen Uranverbindungen und daraus durch Zerfall entstehende Thoriumverbindungen an der Rohrwand.

4.0 Prinzip der Meßmethoden

Die Intensität der 185,72 keV-Strahlung, die vom Gas emittiert wird, ist proportional zum Produkt aus der Anreicherung und der Dichte des Urans im UF_6 -Gas. Aufgrund der Uranablagerungen an der Rohrwand wird die 185,72 keV Strahlung sowohl von diesen als auch vom Gas emittiert. Alle hier untersuchten Meßmethoden zur Bestimmung der ^{235}U -Anreicherung des Urans im UF_6 -Gas beruhen auf der Separierung des Intensitätsanteils der 185,72 keV-Strahlung, der vom Gas emittiert wird. Zusätzlich ist eine Dichtebestimmung (bei konstanter Temperatur ist eine Druckmessung äquivalent) des Urans im UF_6 -Gas notwendig.

4.1 Passive γ -Spektroskopie

Bei der passiven γ -Spektroskopie wird das γ -Spektrum eines durch einen möglichst weiten Kollimator wohldefinierten Leitungsabschnittes aufgenommen und die Zählraten der 185,72 keV Strahlung des ^{235}U sowie der 63,29 keV-Strahlung des ^{234}Th ausgewertet. Das Verhältnis der Zählraten ist näherungsweise proportional zur ^{235}U -Anreicherung des Gesamtsystems bestehend aus Gasstrom und Ablagerung, vorausgesetzt, die energieabhängige Nachweiswahrscheinlichkeit der vom Gasvolumen und von den Ablagerungen emittierten Strahlung ist angenähert gleich. Der Proportionalitätsfaktor kann dann durch eine Eichmessung an einem Rohrstück gleicher Geometrie und künstlich erzeugten Uranablagerungen bekannter Anreicherung bestimmt werden. Die Uranablagerungen müssen dabei im radioaktiven Gleichgewicht sein. Eine zweite Eichmessung an einem Leitungsstück mit UF_6 -Gas bekannter Dichte und bekannter Anreicherung liefert die pro Druckeinheit zu erwartende Zählrate der 185,72 keV Strahlung bei einer bestimmten Anreicherung.

Nimmt man bei einer Messung an einer realen Prozeßleitung an, die ^{235}U -Anreicherungen des Gases und der Ablagerungen seien gleich, so erhält man im Gleichgewichtsfall aus dem gemessenen Zählratenverhältnis auch die Anreicherung des Gases. Weicht das gemessene Zählratenverhältnis von demjenigen ab, das aufgrund der Eichung für eine bestimmte Anreicherung (z.B. der vom Anlagenbetreiber deklarierten) ermittelt wurde, so kann die Ursache dafür in einer falschen Annahme über die Ablagerungsanreicherung liegen oder an einem nicht mit dem deklarierten Wert der Gasanreicherung übereinstimmenden Anteil der vom Gas emittierten Strahlung. Dieser Anteil wird durch den Gasdruck und die Gasanreicherung bestimmt. Eine unabhängige Messung des Gasdruckes erlaubt dann die Bestimmung des zu Lasten der Gasanreicherung gehenden Anteils der gemessenen Strahlung. Eine Schlußfolgerung über die Gasanreicherung hängt also von der Richtigkeit der Annahme über die Ablagerungsanreicherung ab.

Selbst wenn alle idealisierenden Annahmen erfüllt sind, wie z.B. das Vorliegen radioaktiven Gleichgewichts, gleicher relativer Nachweiswahrscheinlichkeiten für Gas und Ablagerungen sowie 100%iger Ablagerung des im Gasstrom entstehenden Thoriums, ist zur Bestimmung der Gasanreicherung eine nicht verifizierbare Annahme über die Ablagerungsanreicherung nötig. Die Unkenntnis dieser Anreicherung wirkt sich um so

stärker auf den Wert der Gasanreicherung aus, je größer die Uranmassenbelegung der Ablagerungen relativ zur Massenbelegung des beobachteten UF_6 -Gasvolumens ist.

Aufgrund dieser Unsicherheiten wurden im Laufe der internationalen Diskussion zwei Methoden vorgeschlagen, die unter idealen Voraussetzungen eine Separierung der vom Gas emittierten γ -Strahlung von der insgesamt emittierten γ -Strahlung ermöglichen sollten.

Die beiden Methoden werden als Ablagerungs-Korrektur-Technik bzw. als Zwei-Geometrie-Technik bezeichnet. Beide Techniken wurden angewendet, um jeweils in Verbindung mit einer Röntgenfluoreszenzanalyse ihre Fähigkeit zu untersuchen, die ^{235}U -Anreicherung im UF_6 -Gasstrom von Produktleitungen abzuschätzen.

4.2 Ablagerungs-Korrektur-Technik

Diese Technik hat das Ziel, aufgrund der gemessenen Intensitäten der 185,72 keV γ -Strahlung von ^{235}U und der 63,29 keV γ -Strahlung von ^{234}Th eine ja/nein Aussage darüber zu liefern, daß die ^{235}U -Anreicherung des UF_6 -Gases unter 20% liegt. Die gemessene Intensität der 185,72 keV γ -Strahlung besteht aus zwei Komponenten:

1. γ -Strahlung, die von den Ablagerungen nichtflüchtiger Uranverbindungen emittiert wird.
2. γ -Strahlung, die von gasförmigem UF_6 emittiert wird.

Auch die Intensität der 63,29 keV γ -Strahlung setzt sich aus zwei Komponenten zusammen:

1. γ -Strahlung, die von ^{234}Th emittiert wird, das sich als Zerfallsprodukt des ^{238}U im Gasstrom in Form nichtflüchtiger Verbindungen an der Rohrwand abgelagert hat. Dieses Thorium bezeichnet man zur Unterscheidung als direkt abgelagertes Thorium.
2. γ -Strahlung von ^{234}Th das durch radioaktiven Zerfall von vorher an der Rohrwand in Form nichtflüchtiger Uranverbindungen abgelagerten Urans entstanden ist.

Die Schließung der Intensitätsbilanz läßt sich anhand folgender Gleichungen darstellen:

$$I_{186_{Tot}} = I_{186_{Abl}} + I_{186_{Gas}}$$

und

$$I_{63_{Tot}} = I_{63_{Abl}} + I_{63_{Th}}$$

Hier stehen $I_{186_{Tot}}$ und $I_{63_{Tot}}$ für die jeweiligen gemessenen Intensitäten und Abl, Gas und Th für abgelagertes Uran, UF_6 -Gas und direkt abgelagertes Thorium. Wenn sich die Nachweiswahrscheinlichkeiten für die γ -Strahlung vom Gas und von den Ablagerungen nicht wesentlich unterscheiden, gilt die erste Gleichung auch für die Zählraten. Diese Bedingung ist für die untersuchten Produktleitungen annähernd erfüllt. Bei der zweiten Gleichung ist diese Bedingung nicht erforderlich, da beide Intensitätsbeiträge von derselben räumlichen Quellverteilung emittiert werden. Neben dieser Bedingung müssen

noch weitere Voraussetzungen erfüllt sein, um zu einer nur noch von der Anreicherung abhängigen Beziehung zwischen den Intensitäten oder Zählraten der 185,72 keV und 63,29 keV γ -Strahlungen zu gelangen. Zusammengefaßt sehen die Randbedingungen folgendermaßen aus:

1. Radioaktives Gleichgewicht zwischen dem Zerfall von Uran und Thorium muß sich eingestellt haben.
2. Die Ablagerungen müssen homogen auf der Rohrwand verteilt sein.
3. Die direkten Thoriumablagerungen müssen vollständig, d.h. zu 100% erfolgen.
4. Es gibt keine Unterschiede in den geometrischen Nachweiswahrscheinlichkeiten für γ -Strahlung, die vom Gas und von den Ablagerungen unter der speziell für die passive γ -Messung gewählten Meßgeometrie nachgewiesen wird.

Sind alle diese Voraussetzungen erfüllt, so gelten folgende Beziehungen für die Anteile der 185,72 keV-Strahlung:

$$N_{186_{Gas}} = K \times \frac{E_{Gas} \times N_{63_{Th}}}{1 - E_{Gas}}$$

und

$$N_{186_{Abl}} = K \times \frac{E_{Abl} \times N_{63_{Abl}}}{1 - E_{Abl}}$$

K ist dabei eine Konstante, die von der Wandstärke der Rohrleitung, den relativen Nachweiswahrscheinlichkeiten und den relativen Häufigkeiten der pro α -Zerfall von ^{235}U und ^{234}Th emittierten γ -Strahlung abhängt. E ist die jeweilige Anreicherung und die Indizes Gas, Abl und Th beziehen sich auf die Anteile von Gas, Uranablagerung und direkter Thoriumablagerung.

Die beiden vorhergehenden Gleichungen können in folgender Weise kombiniert werden:

$$N_{186_{Tot}} = K \times \left[\frac{E_{Gas}}{1 - E_{Gas}} \times N_{63_{Tot}} + \left(\frac{E_{Abl}}{1 - E_{Abl}} - \frac{E_{Gas}}{1 - E_{Gas}} \right) \times N_{63_{Abl}} \right]$$

In dieser Form geschrieben werden die Einflüsse der verschiedenen Faktoren besonders deutlich. Unter idealen Bedingungen müßte der zweite Summand in den eckigen Klammern auf der rechten Seite verschwinden, d.h. wenn die Anreicherung des Gases gleich der Anreicherung der Ablagerungen ist. Wenn diese Anreicherungen nicht gleich sind, wirkt sich zusätzlich noch die von den Uranablagerungen emittierte Intensität $N_{63_{Abl}}$ auf die Bilanz der Gleichung aus. Bei den meisten Produktleitungen in Almelo und Gronau waren die Anreicherungen von Gas und Ablagerung unterschiedlich, und die emittierte Intensität der 63,29 keV-Strahlung der Uranablagerungen betrug ein Vielfaches derjenigen der direkten Thoriumablagerungen.

Für $E_{Abl} \sim E_{Gas}$ ist $N_{186_{Tot}}$ ausschließlich eine Funktion von $N_{63_{Tot}}$. In diesem Fall steht eine Methode zur Verfügung, mit der sich der bestimmungsgemäße Betrieb einer GUZ-Anlage, d.h. die ^{235}U -Anreicherung des UF_6 -Gases ist in Übereinstimmung mit dem deklarierten Wert, überprüfen läßt. Inwieweit diese Übereinstimmung erfüllt ist, kann

anhand der gemessenen Überschußzählrate, die durch die folgende Gleichung gegeben ist, entschieden werden:

$$\Delta N_{186} = N_{186_{Tot}} - K \times \frac{E_{Gas}}{1 - E_{Gas}} \times N_{63_{Tot}}$$

wobei E_{Gas} nun die vom Anlagenbetreiber deklarierte Gasanreicherung ist. Im Idealfall sollte ΔN_{186} gleich Null sein.

In der Praxis jedoch, unter normalen Betriebsbedingungen, ist es sehr unwahrscheinlich, daß ΔN_{186} verschwindet. Die Überschußzählrate kann sogar positive oder negative Werte annehmen, aufgrund des Vorzeichens der Differenz von E_{Abl} und E_{Gas} , sowie der Tatsache, daß die direkte Thoriumablagerung nicht immer 100% ist.

Für die Auswertung ist nur die letzte Gleichung anwendbar, da die Anreicherung der Uranablagerungen und der Anteil der von den Uranablagerungen emittierten 63,29 keV-Strahlung nicht bekannt sind. Bei Kenntnis der nach dieser Gleichung berechneten Überschußzählrate kann eine entsprechende Abweichung von der deklarierten Anreicherung berechnet werden:

$$\Delta E_{Gas} = \frac{1}{p \times C} \times \frac{\Delta N_{186}}{N_{RFA}}$$

Die Konstanten p und C werden durch Eichung bestimmt. N_{RFA} ist die Röntgenfluoreszenzzählrate und p der Proportionalitätsfaktor zwischen dieser Zählrate und dem UF_6 -Gasdruck. C gibt die unter einer speziellen Geometrie zu erwartende Gaszählrate bei Einheitsdruck und einer Anreicherung von 1 % an.

Die sogenannte gemessene Anreicherung ist dann:

$$E_M = E_{Gas} + \Delta E_{Gas}$$

4.3 Zwei-Geometrie-Technik

Die Tatsache der Abhängigkeit der Ablagerungs-Korrektur-Technik von einer Annahme über die Anreicherung der Ablagerungen zwang zu Überlegungen hinsichtlich einer Meßtechnik, die eine Kenntnis der Anreicherung des abgelagerten Urans nicht erfordert. Diese Überlegungen führten zur Konzeption der Zwei-Geometrie-Technik. Hier wird der bei der Ablagerungs-Korrektur-Technik unerwünschte Effekt ausgenutzt, daß sich die nachgewiesenen Gas- und Ablagerungsanteile der 185,72 keV-Strahlung bei einer Messung mit verschiedenen Kollimatoren unterscheiden. Die Nachweiswahrscheinlichkeiten für diese Strahlung sind bei einem weiten Kollimator, wie er bei der Ablagerungs-Korrektur-Technik verwendet wird, für Ablagerungen und Gas annähernd gleich. Je enger der Kollimator wird, um so mehr steigt die Nachweiswahrscheinlichkeit der Strahlung aus dem Gas gegenüber derjenigen aus den Ablagerungen. Werden zwei unterschiedlich weite Kollimatoren verwendet, so kann nach entsprechender Eichung der Anteil des Gases an der nachgewiesenen 185,72 keV-Strahlung bestimmt werden ohne eine Kenntnis der ^{235}U -Anreicherung der Ablagerungen.

Sind die relativen Nachweiswahrscheinlichkeiten der vom Gas und von den Ablagerungen emittierten 185,72 keV-Strahlung bei den beiden unterschiedlichen Kollimierungen a_1 und a_2 , so folgt:

$$N_1 = G + A$$

$$N_2 = a_1 \times G + a_2 \times A$$

N_1 und N_2 sind dabei die gemessenen Zählraten unter den beiden Geometrien, G und A die Zählraten für Gas und Ablagerung in der Geometrie mit dem weiteren Kollimator. Es ist anhand dieser Gleichungen möglich, den Anteil der vom Gas emittierten 185,72 keV-Strahlung zu separieren:

$$G = \frac{N_2 - (N_1 \times a_2)}{a_1 - a_2}$$

Aus dieser Gleichung ist sofort zu erkennen, daß keine Einstellung radioaktiven Gleichgewichts, keine 100%ige Thoriumablagerung und keine Kenntnis der Ablagerungsanreicherung erforderlich ist. Bei der Herleitung der obigen Gleichung ist nur eine gleichförmige Verteilung der Ablagerungen an der Rohrwand vorausgesetzt. Diese Voraussetzung ist notwendig, da die Methode von Änderungen der geometrischen Nachweiswahrscheinlichkeit infolge unterschiedlicher Kollimierung abhängt. Ungleichförmige Ablagerungen führen zu systematischen Fehlern, deren Größe vom Ausmaß der Ungleichförmigkeiten sowie von den relativen Anteilen der Ablagerungen und des Gases an der nachgewiesenen 185,72 keV-Strahlung abhängt.

Wenn die Urandichte (oder der Druck) des Gases durch eine ergänzende Methode, z.B. durch Röntgenfluoreszenzanalyse, bekannt ist, kann die zum Zeitpunkt der Messung vorliegende ^{235}U -Anreicherung berechnet werden:

$$E = \frac{N_2 - (N_1 \times a_2)}{a_1 - a_2} \times \frac{1}{C \times p \times N_{RFA}}$$

wobei das Produkt von p und N_{RFA} den Gasdruck angibt und C die durch Eichung bestimmte Gaszählrate bei Einheitsdruck und einer ^{235}U -Anreicherung von 1% ist.

4.4 Messung der Dichte des Urans im Uranhexafluorid-Gas

Die Dichte der Uranatome oder entsprechend der UF_6 -Moleküle im Gas kann zerstörungsfrei durch energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse gemessen werden. Hierzu werden die Uranatome im Gas mit der Strahlung einer geeigneten Quelle angeregt, und die $K_{\alpha 1}$ -Fluoreszenzstrahlung des Urans von 98,439 keV wird mit einem Germaniumdetektor gemessen. Die Anregung kann mit einer radioaktiven Quelle erfolgen, die mindestens einen diskreten γ -Übergang oberhalb der Anregungsenergie des Urans besitzt, z.B. ^{57}Co , oder einer Röntgenröhre, deren Maximalenergie des kontinuierlichen Röntgenspektrums in den Bereich oberhalb der Anregungsenergie des Urans reicht.

Durch sorgfältige Kollimierung der Strahlung der Anregungsquelle und des Detektors ist sicherzustellen, daß ausschließlich Fluoreszenzstrahlung aus dem Gas, jedoch nicht von den Uranablagerungen an der Rohrwand nachgewiesen wird. Die Eichung erfolgt an einem Leitungsabschnitt gleicher geometrischer Abmessungen und Wanddicke wie das Produktrohr sowie bekannter UF_6 -Gasdichte. Dabei muß die aufgrund des radioaktiven Zerfalls abnehmende Aktivität der Anregungsquelle im Zeitintervall zwischen Eichung und Messung berücksichtigt werden. Die Eichkonstante liegt dann in der Form einer Zählrate pro hPa und MBq vor.

Das gemessene Fluoreszenzspektrum der Uran-Röntgenstrahlung wird von einer breiten Streustrahlungsverteilung überlagert, die aus dem unerwünschten Nachweis mehrfach im Material der Rohrwand gestreuter Strahlung der Anregungsquelle im Detektor herrührt. Dieser Effekt läßt sich nicht ganz vermeiden. Bei geringen Urandichten im Gas trägt der dadurch hervorgerufene relativ hohe Untergrund zu einem hohen statistischen Fehler bei.

die Anwesenheit von niedrig angereichertem Uran bestätigt werden kann. Darüber hinaus konnte der ausschließlich durch die Zählstatistik bedingte Fehler im Endergebnis ausgegeben werden.

Bei der Auswertung wurden aus unterschiedlichen Gründen von der potentiell nutzbaren γ -Strahlung nur die zwei Übergänge mit 185,72 und 63,29 keV verwendet. Dies gilt für alle untersuchten Meßtechniken. Die 1001 keV-Strahlung wäre nur mit einer sehr schweren Bleiabschirmung hinreichend gegen Störquellen aus benachbarten Rohrleitungen abzuschirmen gewesen, was auf Kosten einer leichten Handhabbarkeit der Meßapparatur gegangen wäre. Ihr Nachweis wurde deshalb bei der Konzeption des Meßsystems nicht mit einbezogen. Die 92,38 keV/92,80 keV-Strahlung stellt im Spektrum eine Doppellinie dar und wird zusätzlich von der Thorium $K_{\alpha 1}$ -Röntgenlinie überlagert, deren Intensität von der Anzahl der zerfallenden ^{235}U -Atome abhängt, also mit der Anreicherung zunimmt. Die Auswertung dieser Doppel-Linie wird dadurch erschwert und führt zu zusätzlichen Fehlern. Aus diesem Grunde wurde sie bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Die 84,24 keV-Linie hat eine kurze Gleichgewichtszeit und ihre Intensität hängt stark von kleinen Druck- und Anreicherungsschwankungen ab und ist deshalb für die Bestimmung der Anreicherung der Ablagerungen schlecht geeignet. Sie wurde daher nicht zur Auswertung herangezogen. Durch die damit erfolgte Einschränkung auf die beiden γ -Linien von 185,72 keV und 63,29 keV sowie auf die beiden K-Röntgenlinien des Urans wurde der für die Detektorauswahl maßgebende Energiebereich festgelegt.

Detektor	Typ	ΔE bei 122 keV	Durchmesser/mm	Dicke/mm
PGT	Planar	670	49,3	16
ORTEC 1	LOAX n-Typ	586	51,9	19,8
ORTEC 2	LOAX n-Typ	623	51,3	20,3

Tab. 3. Verwendete Reinstgermanium-Detektoren

Die Detektordaten sind in Tabelle 3 angegeben. In den Abmessungen sind alle drei verwendeten Detektoren ähnlich und unterscheiden sich nur wenig in der Ansprechwahrscheinlichkeit. Sie wurden im Hinblick auf eine hohe Ansprechwahrscheinlichkeit und auf eine gute Energieauflösung im zu untersuchenden Energiebereich von 60 keV bis ca. 200 keV ausgewählt. Mit dickeren Detektoren läßt sich die Ansprechwahrscheinlichkeit für die 185,72 keV γ -Strahlung zwar maximal um etwa 9% steigern, die Empfindlichkeit für höherenergetische Strahlung wächst aber im gleichen Maße, mit der Folge eines erhöhten Untergrundes in den gemessenen Spektren.

5.0 Meßgeräte

Für alle im Laufe des Projektes erforderlichen Messungen reichte im Prinzip ein konventionelles γ -Spektroskopiesystem aus. Die einzelnen Komponenten des Spektroskopiesystems wurden mit dem Fortschreiten des Projektes dem neuesten Stand der Technik angepaßt, was sich im wesentlichen in einem erhöhten Bedienungs- und Handhabungskomfort auswirkte. Der Grundaufbau des Systems ist in Abb. 1 in Form eines Blockschaltbildes dargestellt.

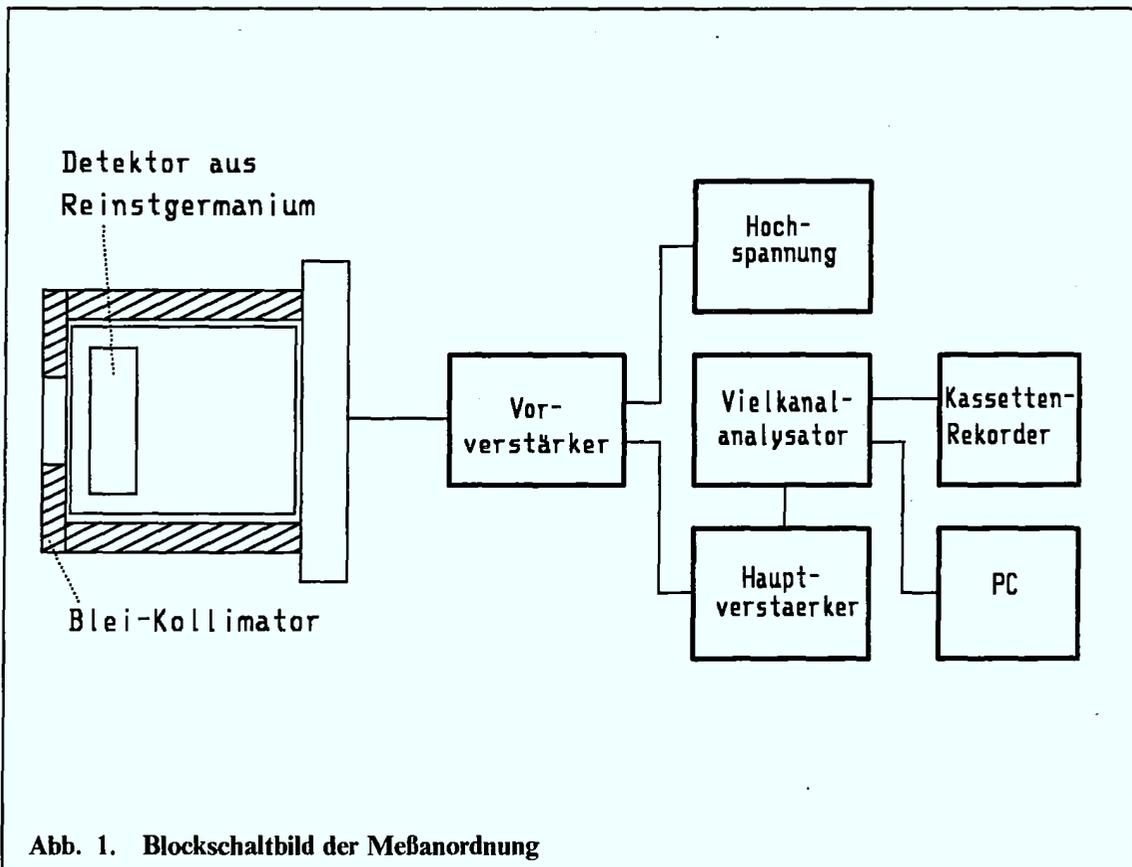


Abb. 1. Blockschaltbild der Meßanordnung

Neben den durch die Physik bedingten Randbedingungen waren die Erfordernisse des vorgesehenen Einsatzes der Meßapparatur bei Safeguards-Inspektionen maßgebend für die Auswahl der einzelnen Komponenten. Aufgrund der geplanten großflächigen Anwendung einer zerstörungsfreien Meßtechnik in GUZ-Anlagen ergab sich die Forderung nach einem tragbaren oder zumindest leicht transportablen System. Diese Forderung führte in der fortgeschrittenen Phase des Projektes zur Verwendung eines nur noch aus wenigen tragbaren Komponenten bestehenden Spektroskopiesystems.

Die Meßanordnung bestand im wesentlichen aus einem Reinstgermaniumdetektor, einem der Rohrleitungsgeometrie angepaßten Kollimator, einer Abschirmvorrichtung und einem Vielkanalanalysator mit integriertem Verstärker und Hochspannungsversorgung sowie einem Kassettenlaufwerk zur Datenspeicherung. Ein tragbarer Rechner konnte die Meßdaten aus dem Speicher des Vielkanalanalysators direkt übernehmen, dort auswerten, dokumentieren und mit Hilfe einer Entscheidungsprozedur ermitteln, ob

Für Produktrohre mit gleichen Durchmessern und Wandstärken, wie sie bei den hier beschriebenen Messungen vorlagen, wurde ein speziell angepaßter Kollimator entwickelt, mit dem sichergestellt werden konnte, daß bei jeder Messung der gleiche Rohrabschnitt vom Detektor gesehen wurde. Dabei sollte der Kollimator das Blickfeld des Detektors so begrenzen, daß die Rohrbereiche in der Nähe von Krümmungen oder Rohrverengungen nicht vom Detektor gesehen werden konnten. Der zuerst eingesetzte Kollimator hatte eine rechteckige Öffnung mit einer Länge von 80 mm und einer Breite von 44 mm. Die Gesamtdicke war 9 mm wovon 3 mm auf der dem Detektor zugewandten Seite aus Kadmium bestand. Die restlichen 6 mm auf der Außenseite waren aus Blei gefertigt. Die Anordnung dieses Kollimators an der Produktleitung, einschließlich Abschirmung und Detektor ist in der folgenden Abbildung 2 im Querschnitt gezeigt:

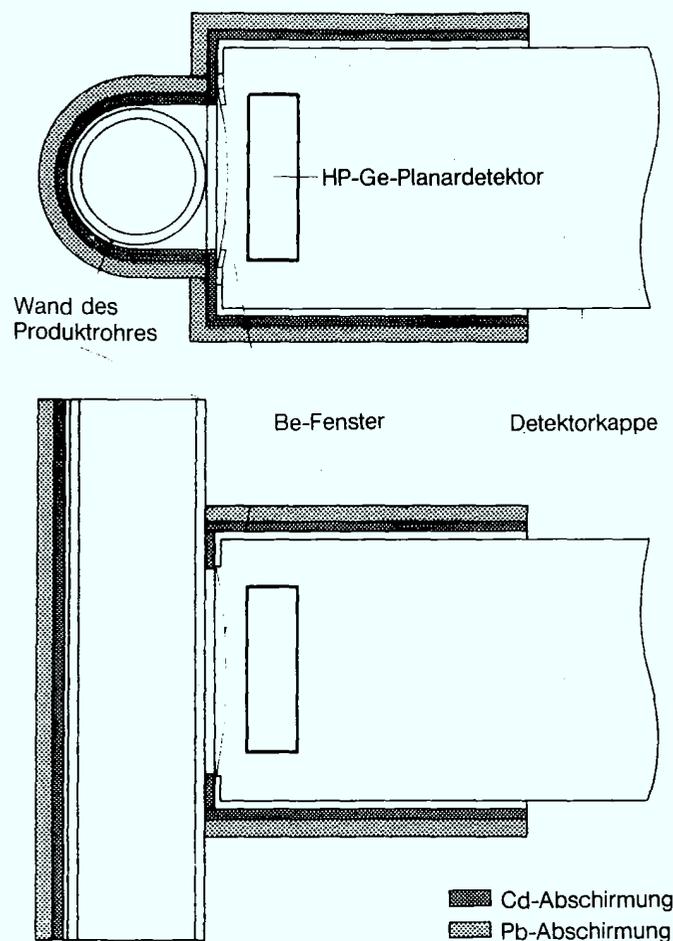


Abb. 2. Querschnitt von Detektor und Abschirmung in bezug auf Produktrohr

Da mit dieser Kollimator-konstruktion ein Strahlungsbeitrag von weit entfernten Rohrbereichen in der Nähe von Rohrkrümmungen, wo sehr hohe Ablagerungen auftreten konnten, nicht auszuschließen war, mußte der Detektor relativ zum Kollimator zurückgezogen werden um den vom Detektor aus sichtbaren Raumwinkel zu verkleinern. Daraus ergaben sich Schwierigkeiten im Hinblick auf eine reproduzierbare Justierung der Meßanordnung. Dieses Problem wurde mit einer bei den späteren Messungen verwendeten Neukonstruktion des Kollimators mit kleinerer Öffnung gelöst. Der neue

Kollimator bestand aus Wolfram, hatte eine Länge von 50 mm und eine Breite von 30 mm, bei einer Dicke von 6 mm. Wolfram wurde gewählt, weil der Nachweis von Röntgenfluoreszenzstrahlung des Bleis stark unterdrückt werden sollte. Die K_{β} -Röntgenstrahlung fällt mit der 84,21 keV γ -Linie zusammen und erschwert dadurch die Auswertung ihrer Intensität. Wenn diese γ -Linie auch nicht zur Auswertung herangezogen wurde, sollte diese Möglichkeit zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Für die Anwendung der Zwei-Geometrie-Technik mußte ein spezieller Schlitzkollimator entwickelt werden. Durch die Wahl eines engen Schlitzes, parallel zum Produktrohr orientiert, konnte der Gasanteil der nachgewiesenen 185,72 keV-Strahlung gegenüber dem Ablagerungsanteil begünstigt werden. Die zweite Geometrie wurde durch eine 90°-Drehung des Kollimators um seine Mittelachse realisiert. Bei dieser Geometrie wurde der Ablagerungsanteil an der nachgewiesenen Intensität bevorzugt. Da ein möglichst enger Kollimatorschlitz die besten Diskriminierungseigenschaften hat, jedoch die meßbare Intensität stark reduziert, muß hier ein Kompromiß zwischen den beiden Forderungen gefunden werden.

Um die günstigste Lösung zu finden, wurden die im Anhang I beschriebenen Rechnungen durchgeführt. Aufgrund der Ergebnisse dieser Rechnungen wurde ein rechteckiger Schlitzkollimator mit einer Öffnung von 10 mm x 50 mm und einer Dicke von 6 mm aus Wolfram angefertigt.

Da die beiden unterschiedlichen Geometrien durch eine einfache Drehung des Kollimators realisiert werden konnten, mußte sonst keine Komponente des Meßsystems bewegt werden. Dies resultierte in einer exakten Reproduzierbarkeit der relativen Anordnung von Detektor, Kollimator und Produktleitung.

Die Dichtebestimmung des Urans im UF_6 -Gas wurde mittels energiedispersiver Röntgenanregung am gleichen Leitungsstück wie die eigentliche Gammamessung durchgeführt. Dazu wurden die im UF_6 -Gas enthaltenen Uranatome mit der 122 keV-Strahlung einer ^{57}Co -Quelle angeregt. Die infolge der Anregung emittierte $K_{\alpha 1}$ - und $K_{\alpha 2}$ -Röntgenstrahlung wurde mit demselben Germaniumdetektor gemessen, der auch für die γ -Messungen benutzt wurde. Dabei war es erforderlich, sowohl die von der Quelle emittierte Anregungsstrahlung als auch die Röntgenfluoreszenzstrahlung sorgfältig zu kollimieren. Da die Anregungsstrahlung auch auf die Ablagerungen sowie das Material der Rohrwand trifft, dort gestreut wird bzw. das abgelagerte Uran anregt, darf die direkt von der bestrahlten Wand gestreute Strahlung nicht im Detektor nachgewiesen werden. Die Anteile der Fluoreszenzstrahlung von der Wand wären dann nicht vom Gasanteil zu trennen und würden das Ergebnis der Dichtebestimmung verfälschen. Außerdem stellt die direkt von der Wand Comptongestreute Quellstrahlung einen sehr hohen kontinuierlichen Untergrund im Spektrum dar, so daß die Fluoreszenzstrahlung des Urans im Gas nicht mehr nachweisbar ist.

Aus diesem Grund wird die Fluoreszenzstrahlung senkrecht zur Richtung der Quellstrahlung gemessen. Werden beide Kollimatorschlitze entsprechend eng gewählt, kann erreicht werden, daß ausschließlich die Fluoreszenzstrahlung des Gases nachgewiesen wird. Im vorliegenden speziellen Fall kleiner Rohrdurchmesser und niedriger Gasdrücke mußte bei Verwendung eines Einzelschlitzes zur Kollimierung der

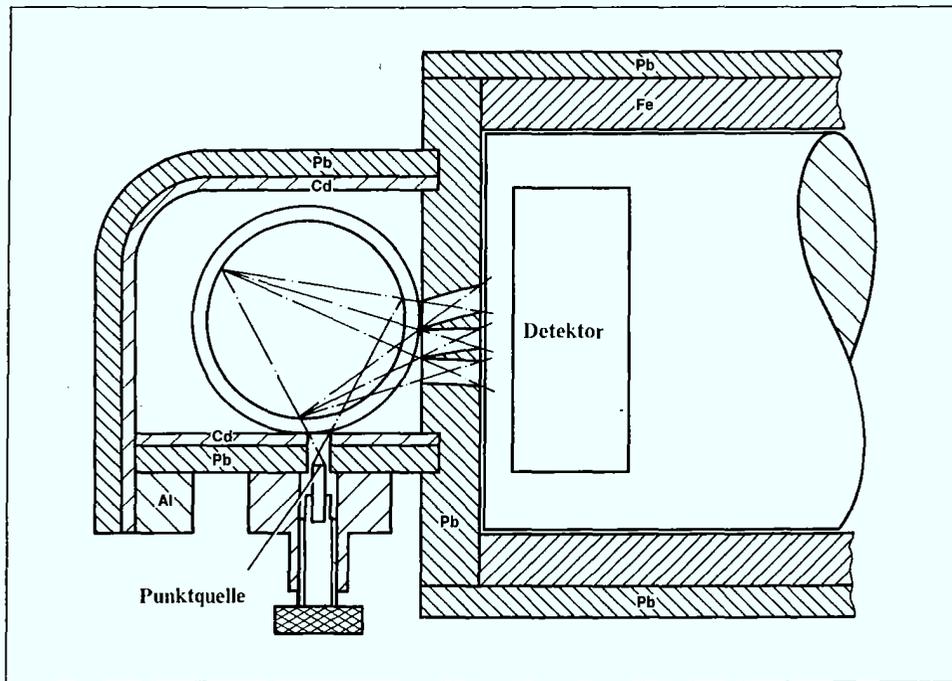


Abb. 3. Schnitt durch die Röntgenfluoreszenzanordnung

Fluoreszenzstrahlung die Schlitzbreite so klein gewählt werden, daß die meßbare Intensität sehr gering wurde. Um die Intensität zu erhöhen und gleichzeitig die Kollimierungseigenschaften zu erhalten, wurde ein Kollimator mit drei parallelen Längsschlitzen angefertigt. Dadurch wurde der nutzbare Raumwinkel um den Faktor 2,5 vergrößert. Die Anordnung zur Urandichtebestimmung im UF_6 -Gas mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanregung ist in Abb. 3 im Schnitt senkrecht zur Rohrachse dargestellt.

6.0 Eichproblematik

Für alle untersuchten Meßtechniken, die passive γ -Spektrometrie, die Ablagerungs-Korrektur-Technik und die Zwei-Geometrie-Technik ist die Bestimmung mehrerer Eichkonstanten erforderlich. Die Eichkonstanten stellen den Bezug zwischen der Quantität der emittierten und der nachgewiesenen Strahlung her. Diese sind jedoch nur konstant, wenn die Meßanordnung und die räumliche Quellverteilung identisch sind. Für unterschiedliche Kollimatoren, Detektoren oder Produktrohre sind die Eichkonstanten verschieden. Eine Eichung bezieht sich deshalb nur auf eine ganz spezielle Meßanordnung.

Die wesentlichen Eichkonstanten sind:

1. Die Konstante K vermittelt den Bezug zwischen dem Verhältnis der vorhandenen ^{235}U -Atome und ^{238}U -Atome und dem Verhältnis der nachgewiesenen Zählraten der 185,72 keV und 63,29 keV Übergänge. Diese Eichkonstante ist für die passive γ -Spektroskopie und die Ablagerungs-Korrektur-Technik identisch, wenn einund-dieselbe Meßanordnung benutzt wird.
2. Die Konstante C stellt die Beziehung zwischen dem Gasanteil der 185,72 keV Strahlung und der Anreicherung her. Ihr Zahlenwert gibt die Zählrate des Gasanteils an, die bei einem UF_6 -Gasdruck von 1 hPa und einer UF_6 -Gasanreicherung von 1 % nachgewiesen wird. Sie wird bei allen Meßtechniken verwendet, hat aber aufgrund unterschiedlicher Kollimatorgrößen verschiedene Werte.
3. Die Konstante p vermittelt die Relation zwischen gemessener Röntgenfluoreszenzzählrate und dem UF_6 -Gasdruck. Sie wird bei allen Meßtechniken benötigt, und ihr Zahlenwert gibt die Fluoreszenzzählrate bei einem UF_6 -Gasdruck von 1 hPa und einer Anregungsquellstärke von 1 MBq an.
4. Die Konstanten a und b sind die relativen Nachweiswahrscheinlichkeiten der 185,72 keV-Strahlung, die vom Gas bzw. den Ablagerungen bei der Messung unter verschiedenen Geometrien emittiert wird. Sie hängen von der Größe und von der Lage des verwendeten Kollimators ab.

Bestimmung von K

Die relativen Emissionsraten der γ -Übergänge von ^{235}U und ^{238}U lassen sich bei bekannter Anreicherung aus den Zerfallsdaten berechnen. Werden die mit einer speziellen Meßgeometrie bestimmten Zählraten der relevanten γ -Übergänge des Urans zu den berechneten ins Verhältnis gesetzt, so erhält man die relativen Nachweiswahrscheinlichkeiten.

Im vorliegenden speziellen Fall ist vorausgesetzt, daß die Nachweiswahrscheinlichkeiten der Strahlung, die vom UF_6 -Gas und von den Ablagerungen emittiert wird, angenähert gleich sind. In diesem Fall kann für die Ablagerungen und das UF_6 -Gas ein einheitlicher K -Wert bestimmt werden.

Die Eichung wurde, je nach verfügbarer Eichquelle, auf verschiedene Weise durchgeführt. Die erste Eichquelle bestand aus einem der Produktleitung entsprechenden Rohrstück, dessen Innenwand mit simulierten Ablagerungen belegt war. Die Ablagerungen wurden durch gleichmäßiges Aufbringen einer Uranlösung bekannter Anreicherung auf

ein Filterpapier hergestellt, das nach Trocknung auf die Rohrrinnenwand geklebt wurde. Der Nachteil dieser Methode ist, bei frisch hergestellter Lösung, eine lange Wartezeit von 120 Tagen bis zur Einstellung radioaktiven Zerfallsgleichgewichtes.

Ein einfachere Möglichkeit bot sich in der Verwendung einer Feedleitung zur Eichung an. Hier ist die Anreicherung bekannt, und nach längerer Betriebszeit hat sich radioaktives Gleichgewicht des Gesamtsystems UF_6 -Gas und Ablagerung eingestellt. Hier muß jedoch vorausgesetzt werden, daß der Feeddruck die letzten 120 Tage vor der Eichmessung konstant war.

Eine dritte Eichquelle wurde am UF_6 -Teststand der IAEO in Seibersdorf verfügbar gemacht. Es war hier aber nicht möglich, radioaktives Zerfallsgleichgewicht zu garantieren, da die Eichquelle vor der Messung 120 Tage im stationären Zustand verbleiben mußte.

Alle drei Eichquellen wurden verwendet. Es ergaben sich Abweichungen in den Werten der Eichkonstanten von ca. 10 %. Es ist zu vermuten, daß die Ursache dafür z.T. in der unvollständigen Einstellung des radioaktiven Zerfallsgleichgewichtes liegt. Eine weitere Fehlerquelle ergibt sich aus einer möglichen ungleichförmigen Verteilung der Ablagerungen am Feedrohr oder am Testrohr in Seibersdorf. Im letzteren Fall konnte dies auch durch Messung bestätigt werden.

Bestimmung von C

Diese Eichkonstante ließ sich nur an einem mit UF_6 -Gas gefüllten Rohr bestimmen. Auch hier wurde zuerst ein Feedrohr verwendet, da aufgrund des hohen Feeddruckes angenommen werden konnte, daß der überwiegende Teil der 185,72 keV-Strahlung vom UF_6 -Gas emittiert wird. Der Feeddruck und die Anreicherung waren bekannt, so daß die Eichkonstante in guter Näherung bestimmt werden konnte. Eine Unsicherheit ergab sich aus der Unkenntnis des Ablagerungsanteils der 185,72 keV-Strahlung.

Nach Verfügbarkeit des UF_6 -Teststandes in Seibersdorf war es möglich, den Gasanteil der nachgewiesenen 185,72 keV-Strahlung genau zu bestimmen. Hier konnte das Testrohr evakuiert und der Ablagerungsanteil von der Gesamtzählrate abgezogen werden. Der Einfluß ungleichförmiger Ablagerungsverteilungen tritt hier nicht in Erscheinung.

Bestimmung von p

Die Zählrate der Röntgenfluoreszenzstrahlung des Urans ist proportional zum UF_6 -Gasdruck. Der Proportionalitätsfaktor wurde an einer Feedleitung bestimmt, für die der UF_6 -Gasdruck vom Betreiber mitgeteilt wurde. Zur Röntgenfluoreszenzanregung wurde eine ^{57}Co -Quelle mit einer Anfangsquellestärke von 370 MBq verwendet. Bei der Eichmessung und den Messungen an den Produktleitungen wurde die Quellstärke bezüglich des radioaktiven Zerfalls korrigiert. Die Eichmessungen wurden später wiederholt, als der UF_6 -Teststand in Seibersdorf verfügbar war. Die Ergebnisse stimmten sehr gut überein.

Bestimmung von a_1 und a_2

Die höchsten Anforderungen an die Genauigkeit werden bei der Bestimmung der Konstanten a_1 und a_2 zur Auswertung der Zwei-Geometrie-Technik gestellt. Schon geringfü-

gige Abweichungen vom korrekten Wert bewirken große Änderungen im Anreicherungs Wert.

Da bei den ersten Messungen unter Anwendung der Zwei-Geometrie-Technik noch keine geeignete Eichquelle zur Verfügung stand, wurden die Meßwerte an zwei Produktleitungen für die Eichung zugrunde gelegt. Hierzu wurde einmal die Produktleitung mit den stärksten Ablagerungen und das anderemal eine Feedleitung herangezogen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 8 als Satz 1 gekennzeichnet.

In Kenntnis der Unzulänglichkeit der vorher beschriebenen Eichmethode wurden im Labor zwei Eichquellen hergestellt. Die erste Eichquelle bestand aus einem Rohr mit simulierten Ablagerungen, die entsprechend der Methode zur Bestimmung von K präpariert wurden. Die zweite Eichquelle war eine UF_6 -Gasampulle, die mit UF_6 -Gas bei einem Druck 27 hPa und natürlicher Anreicherung gefüllt war. Beide Eichquellen hatten den Nachteil, daß der Durchmesser nicht exakt mit demjenigen der Produktleitungen übereinstimmte. Die mit dieser Eichmethode bestimmten Eichkonstanten sind in der Tabelle 8 mit Satz 2 bezeichnet. Die mit diesem Satz ausgewerteten Meßergebnisse müssen mit Vorbehalt betrachtet werden, da die Eichbedingungen nicht repräsentativ für die realen Produktleitungen waren.

Eine scheinbar ideale Eichmöglichkeit bot sich mit der Verfügbarkeit des UF_6 -Teststandes in Seibersdorf an. Hier wurde ein exakt den Produktrohren entsprechender Rohrabschnitt mit Flanschen für den Einbau in den Teststand versehen. Die Eichzählraten sollten möglichst hoch sein, um einen kleinen statistischen Fehler in kurzen Meßzeiten zu erzielen. Deshalb sollte die Messung bei einer ^{235}U -Anreicherung von 14,8 % durchgeführt werden. Die ersten Ablagerungen waren jedoch mit UF_6 -Gas natürlicher Anreicherung erzeugt worden, und zusätzliche Ablagerungen höherer Anreicherung ließen sich nicht herstellen. Außerdem konnte aus technischen Gründen der UF_6 -Gasdruck während der Messung nicht konstant gehalten werden. Die mit dieser Messung ermittelten Werte der Eichkonstanten sind in der Tabelle 8 in Spalte 3 gezeigt. Die statistischen Fehler sind relativ groß, und die Existenz systematischer Fehler ist nicht auszuschließen.

Diese Eichmessung wurde wiederholt, als nach 16 Monaten ein neues Rohr zur Verfügung stand. Ablagerungen mit einer ^{235}U -Anreicherung von 14,8 % konnten erzeugt werden und die Eichparameter ließen sich mit hoher statistischer Genauigkeit bestimmen. Dazu wurde zunächst nur an den Ablagerungen gemessen, d.h. die erste Messung mit Kollimatorschlitz parallel zur Rohrachse, die zweite Messung mit Kollimatorschlitz senkrecht zur Rohrachse. Anschließend wurde an 14,8 % angereichertem Gas unter einem Druck von 25 hPa zuzüglich Ablagerungen gemessen. Die Messung an den Ablagerungen allein wurde abschließend zur Kontrolle wiederholt. Der Gasanteil konnte durch Differenzbildung exakt bestimmt werden. Es stellte sich jedoch nachträglich heraus, daß die Massenbelegung der Ablagerungen längs der Rohrachse einen nichtlinearen Gradienten hatte. Dies führt bei den Ablagerungen zu einem systematischen Fehler im Verhältnis der relativen Nachweiswahrscheinlichkeit für die unter den beiden Geometrien emittierte Strahlung. Die beiden ausgewerteten Eichparameter werden in Spalte 4 der Tabelle 8 gezeigt.

Das Problem der Eichung hängt also im wesentlichen von der Herstellung repräsentativer Eichquellen ab. Es ist bis jetzt noch nicht gelöst. Andererseits ist es fraglich, ob eine Eichquelle mit gleichförmiger Ablagerungsverteilung tatsächlich repräsentativ für ein Produktrohr in einer realen GUZ-Anlage ist. Die Gleichförmigkeit der Ablagerungsverteilungen in Produktleitungen wird zwar bei allen hier diskutierten Meßtechniken als Voraussetzung angenommen, ist aber nicht a priori zwingend gegeben. Eine meßtechnische Verifizierung dieser Annahme erfordert jedoch einen sehr hohen Zeitaufwand und wird daher als wenig praktikabel für Safeguards-Inspektionen eingestuft.

7.0 Durchführung der Messungen

Alle Messungen wurden anfangs in Almelo, später in Gronau durchgeführt an laufenden Kaskaden mit gleichartigen Produktrohren von 42 mm Außendurchmesser. Produktrohre mit diesem Außendurchmesser stellen in bezug auf die Anwendbarkeit der vorgeschlagenen Meßtechniken einen ungünstigen Fall dar. Denn in Großbritannien und USA gelang der Nachweis der Anwendbarkeit der Meßtechniken nur an Rohren mit wesentlich größerem Durchmesser.

Um safeguardsrelevante Aussagen zu erhalten, wurde jeweils eine Meßposition an der Verbindungsleitung zwischen Produktende der Kaskade und Hallenheader (Sammelleitung) gewählt, die in bezug auf die Flußrichtung des UF_6 -Gases vor dem ersten Ventil am Ausgang der Kaskade lag. In der Abbildung 4 ist diese Meßposition gekennzeichnet.

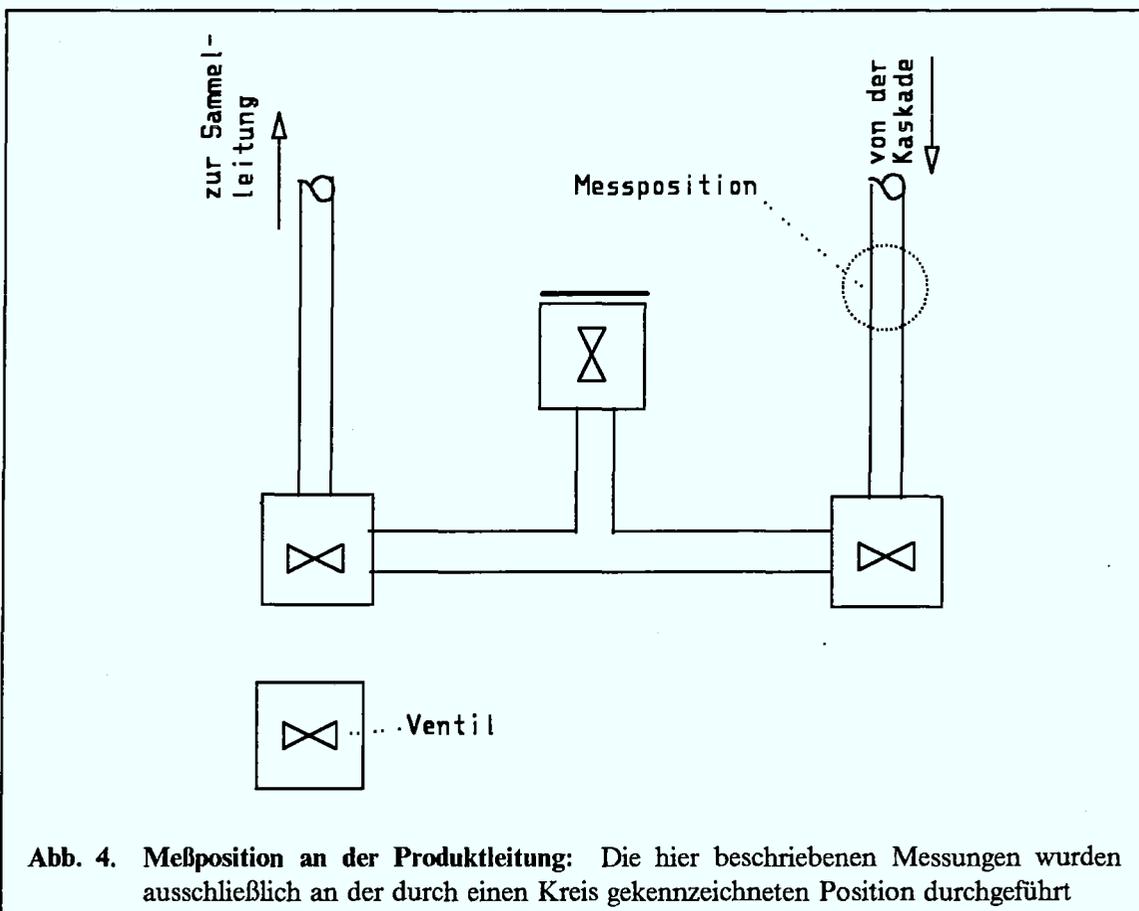


Abb. 4. Meßposition an der Produktleitung: Die hier beschriebenen Messungen wurden ausschließlich an der durch einen Kreis gekennzeichneten Position durchgeführt

Aus früheren Untersuchungen war bekannt, daß sich an Rohrkrümmungen und Rohrquerschnittsverengungen vermehrt Thoriumverbindungen ablagerten. Deshalb wurde eine Meßposition an einem geraden, vertikalen Rohrabschnitt ausgewählt, die möglichst weit von jeder Krümmung oder Querschnittsänderung entfernt lag. Diese Position lag in ca. 2 m Höhe über dem Hallenboden und war mit einem geeigneten Gestell, das auf einem Laborwagen montiert war, für die Meßapparatur hinreichend zugänglich. Das Gestell hatte die Funktion, die komplette Meßausrüstung einschließlich Abschirmung zu tragen, da vom Betreiber aus Gründen der Anlagensicherheit gefordert worden war, die Rohrleitungen nicht zu belasten. Mit Hilfe des Laborwagens war das

Traggestell verfahrbar, so daß die Meßapparatur möglichst zügig an eine entsprechende Meßposition einer anderen Kaskade transportiert werden konnte. Für den Transport von Kaskade zu Kaskade, einschließlich Montage der Bleiabschirmung, wurden maximal 5 min benötigt. Detektor, Kollimator und Abschirmung waren auf einer gemeinsamen Grundplatte fixiert, wie aus Abb.5 ersichtlich ist.

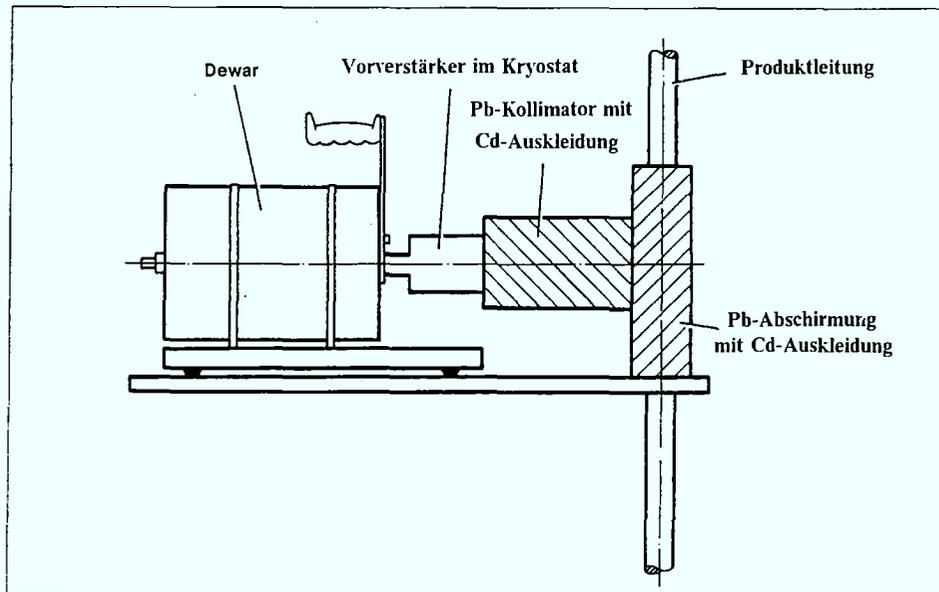


Abb. 5. Aufbau der Meßanordnung an der Produktleitung

Mit einem kreisförmigen Ausschnitt in der Grundplatte, der genau die Weite des Rohrdurchmessers hatte, konnte bei jeder Messung an den einzelnen Produktleitungen die Meßgeometrie in der horizontalen Ebene exakt reproduziert werden. Die Grundplatte war fest auf dem verfahrbaren Gestell montiert.

Zur Stromversorgung der Meßapparatur war ein normaler 220 V Netzanschluß nötig. Mit einem ausreichend langen Verlängerungskabel konnte sichergestellt werden, daß innerhalb einer Kaskadenhalle alle Produktleitungen erreichbar waren, ohne die Stromversorgung zu unterbrechen. Elektrische Störungen durch das Stromnetz oder durch elektrische Streufelder, sowie akustische Störungen der Meßapparatur traten nur bei den ersten Messungen auf und konnten durch Vermeidung von Erdschleifen, d.h. durch elektrische Isolierung der Meßanordnung von den Rohrleitungen und einer Verbesserung der Erdung behoben werden.

Mit Ausnahme der ersten Meßkampagnen waren die verwendeten Detektoren zur besseren Handhabbarkeit der Meßausrüstung nur mit kleinen Dewargefäßen ausgerüstet, die in 24 Stunden-Intervallen einmal mit flüssigem Stickstoff nachgefüllt werden mußten. Flüssiger Stickstoff war betreiberseitig jederzeit verfügbar. Schwierigkeiten gab es anfangs mit der vom Detektorhersteller mitgelieferten Nachfüllvorrichtung, deren Nachfüllrohr aufgrund seines geringen Querschnitts gelegentlich vereiste und daher für

flüssigen Stickstoff nicht mehr durchgängig war. Dieser Mangel wurde später vom Detektorhersteller durch eine Querschnittserweiterung des Nachfüllrohres behoben.

Die Messungen konnten während der regulären Arbeitszeit durchgeführt werden. Übernacht konnte die Meßapparatur unbeaufsichtigt für Langzeitmessungen genutzt werden. Je nach angewandeter Meßtechnik waren Meßzeiten für Einzelmessungen zwischen 0,5 und ca. 10 Stunden erforderlich.

Für die Röntgenfluoreszenzmessungen war aufgrund des Einsatzes einer ^{57}Co -Anregungsquelle eine spezielle mobile Umgangsgenehmigung für radioaktive Stoffe erforderlich, deren Geltungsbereich kerntechnische Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland umfasste. Verbunden damit war die Auflage, daß der Experimentator von der KFA zum Strahlenschutzbeauftragten bestellt wurde. Beim Einsatz dieser Quelle in Almelo mußte, entsprechend den nationalen Regelungen in den Niederlanden, ein befugter Experimentator niederländischer Nationalität diese Funktion übernehmen.

Alle vorgeschlagenen Meßtechniken beruhen auf der Aufnahme von γ -Spektren. Bei der passiven γ -Spektroskopie und der Ablagerungs-Korrektur-Technik wird nur je ein γ -Spektrum mit einem möglichst weiten Kollimator aufgenommen. Für diesen weiten Kollimator stimmen die relativen Nachweiswahrscheinlichkeiten der von den Ablagerungen und vom Gasvolumen emittierten γ -Strahlung nahezu überein. Außerdem ist die gemessene Zählrate vergleichsweise hoch, und Meßzeiten von 30 min sind in den meisten Fällen ausreichend. Die Anwendung der Zwei-Geometrie-Technik erfordert dagegen die Aufnahme von zwei γ -Spektren jeweils unter zwei unterschiedlichen Kollimatorgeometrien. Da der Kollimator aus einem engen Schlitz besteht, wobei der Schlitz bei der ersten Messung parallel zur Rohrachse und bei der zweiten Messung senkrecht zur Rohrachse orientiert ist, ergibt sich bei dieser Meßtechnik eine vergleichsweise geringe Zählrate. Die resultierenden Meßzeiten können für ein γ -Spektrum bis zu 10 Stunden betragen. Hinzu kommt noch eine Verdopplung der Meßzeit durch die erforderliche Aufnahme von zwei γ -Spektren.

Nach Abschluß der ersten Messungen unter Anwendung der passiven γ -Spektroskopie war erkennbar, daß zusätzlich eine Messung der Urandichte im UF_6 -Gas mit Hilfe der Röntgen-Fluoreszenz-Anregung notwendig ist. Dies gilt auch für die beiden anderen Techniken. Die Mindestmeßzeit für die Röntgen-Fluoreszenz-Anregung war 30 min und fiel gegenüber der für die Aufnahme der γ -Spektren erforderlichen Zeit nicht ins Gewicht.

Da die Anwendbarkeit der Ablagerungs-Korrektur-Technik bei großen Rohrdurchmessern erfolgreich demonstriert worden war, hoffte die IAEO, auch bei den geringeren Rohrdurchmessern in Almelo und Gronau mit dieser Technik in einer relativ kurzen Meßzeit zu eindeutigen Aussagen hinsichtlich der ^{235}U -Anreicherung zu kommen. Da Ergebnisse mit der Ablagerungs-Korrektur-Technik schon in einer Meßzeit von einer halben bis einer Stunde zu erwarten waren, wurde bei den ersten Meßkampagnen nur auf diese Technik abgezielt, wobei von Kampagne zu Kampagne Verbesserungen an der Meßapparatur und an den Eichverfahren vorgenommen wurden. Als sich aufgrund der Meßergebnisse herausstellte, daß diese Technik nicht in allen Fällen zu einer hinsichtlich der ^{235}U -Anreicherung befriedigenden Schlußfolgerung führte, sollte die Zwei-Geometrie-Technik als zuverlässige Maßnahme herangezogen werden, um eine eindeutige Entscheidung herbeizuführen.

Die erste Meßreihe mit Blick auf die Anwendung der Ablagerungs-Korrektur-Technik wurde in Almelo durchgeführt. Dabei soll hier deutlich gemacht werden, daß diese Technik sich im Grunde nicht von der passiven Messung eines γ -Spektrums der Uran- bzw. Thoriumstrahlung in einem wohldefinierten Rohrabschnitt der Produktleitung unterscheidet, sondern nur eine bestimmte Auswertemethode der gemessenen Übergangsintensitäten unter Einbeziehung idealisierter Annahmen über die Eigenschaften der Ablagerungen ist. Deshalb konnten auch frühere Meßergebnisse der passiven γ -Spektroskopie mit Hilfe der Ablagerungs-Korrektur-Technik neu ausgewertet werden.

Im Hinblick auf kurze Meßzeiten wurde ein Kollimator verwendet, bei dem der Rohrabschnitt vom Detektor aus gesehen unter einem möglichst großen Raumwinkel erscheint. Wie bei der passiven γ -Spektroskopie hatte die Kollimatoröffnung eine Länge von 80 mm und eine Breite von 44 mm bei einer Dicke von 6 mm. Bei diesen Kollimatorabmessungen waren auch die geometriebedingten Nachweiswahrscheinlichkeiten für die vom Gas und von den Ablagerungen emittierte Strahlung annähernd gleich, was auch eine Grundvoraussetzung für die Anwendbarkeit der Ablagerungs-Korrektur-Technik war.

Zunächst wurde ein in der KFA verfügbarer Planardetektor von 16 mm aktiver Dicke und 50 mm Durchmesser aus hochreinem Germanium verwendet. Dieser Detektor war für die zu untersuchenden γ -Linien im Bereich von 60 bis 200 keV sehr gut geeignet und hatte bei 122 keV eine Energieauflösung unter 700 eV. Das zugehörige Dewargefäß hatte eine Kapazität für flüssigen Stickstoff, die für eine Betriebsdauer von über einer Woche ausreichte, war aber wegen seines Volumens und seines Gewichtes schwierig zu handhaben.

Der Vielkanalanalysator wurde von der IAEA zur Verfügung gestellt und hatte eine integrierte Hochspannungsversorgung für den Detektor, einen eingebauten Hauptverstärker, sowie als Ausgabe einen Magnetkassettenrekorder und einen Drucker. Die automatische Auswertung der gemessenen Spektren auf dem Vielkanalanalysator war nicht transparent und erschien deshalb nicht zuverlässig. Deshalb wurden die interessierenden Spektrumsbereiche kanalweise vom Drucker ausgegeben und von Hand ausgewertet.

Die Bleiabschirmung gegen γ -Strahlung von anderen starken Uranquellen in der Nähe des Produktrohres, z.B. der Feedleitung und des Hallenheaders wurde während der ersten Testmessungen optimiert. Bei dem aus Gründen einer möglichst hohen Zählrate gewählten weiten Öffnungswinkel des Kollimators konnten nur die Bereiche im Inneren des Produktrohres, die zwar weit vom Detektor entfernt waren, aber aufgrund der Nähe der Rohrkrümmungen mit ihren hohen Thoriumablagerungen starke Strahlungsquellen darstellten, nicht abgeschirmt werden. Der Beitrag dieser Strahlungsquellen zur gemessenen Intensität war nicht zu vernachlässigen und konnte nur durch die Wahl eines größeren Abstandes zwischen Detektor und Kollimator, was einer Verkleinerung des Raumwinkels entspricht, verringert werden.

Im Verlaufe der Diskussion der ersten Meßergebnisse wurde klar, daß die mit einer passiven γ -Messung gewonnenen Ergebnisse nur schlüssig sind, wenn gleichzeitig Informationen über den UF_6 -Gasdruck verfügbar sind und diese auch unabhängig verifiziert werden können. Da der Gasdruck aus Geheimschutzgründen dem Inspektor nicht zugänglich

gemacht werden darf, muß er zwar zusätzlich zur passiven γ -Messung bestimmt werden, darf aber nicht explizit für den Inspektor erkennbar sein. Dies kann dadurch geschehen, daß keine Einzelmessergebnisse ausgegeben werden, sondern nur die summarische Aussage, daß niedrige Anreicherung des UF_6 -Gases vorliegt. Zusätzlich müssen Vorkehrungen getroffen werden, daß die Einzelergebnisse im Rechner bei der Ausgabe des Endergebnisse gelöscht werden und im Meßprotokoll nicht erscheinen.

Nach der Inbetriebnahme der GUZ-Anlage in Gronau konnten die weiteren Messungen dort durchgeführt werden. Die insgesamt durchgeführten Meßkampagnen sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Anlage	Zeitraum	Meßtechnik
Almelo/NL	8.10.84 - 12.10.84	PG
Gronau	9.7.86 - 10.7.86	AKT
Gronau	15.7.86 - 18.7.86	Test ZGT
Almelo/NL	3.9.86 - 5.9.86	AKT
Almelo/NL	8.9.86 - 12.9.86	RFA
Gronau	13.4.87 - 16.4.87	RFA + ZGT
Gronau	21.4.87 - 22.4.87	ZGT
Seibersdorf/A	25.8.87 - 28.8.87	ZGT-Eichung
Seibersdorf/A	21.11.88 - 26.11.88	ZGT-Eichung

Tab. 4. Durchgeführte Meßkampagnen

Die in der Tabelle gebrauchten Abkürzungen haben folgende Bedeutung:

- PG** Passive Gammaskopie
AKT Ablagerungs-Korrektur-Technik
ZGT Zwei-Geometrie-Technik
RFA Röntgen-Fluoreszenz-Analyse

Bei der ersten Meßkampagne in Gronau wurde die Ablagerungs-Korrektur-Technik angewendet. Um aussagefähige Ergebnisse zu erhalten, war es hier wichtig, erst 120 Tage nach Inbetriebnahme der einzelnen Kaskaden zu messen, damit sich radioaktives Gleichgewicht des Gesamtsystems, bestehend aus Gasstrom und Ablagerung, einstellen

konnte. Die Ausgangssituation war etwas günstiger als in Almelo, da von der Inbetriebnahme bis zum Zeitpunkt der Messungen nur eine einheitliche ^{235}U -Anreicherung erzeugt wurde. Für diese Messungen stand auch die speziell für die Durchführung des Projektes beschaffte Meßausrüstung zur Verfügung. Diese bestand aus ausgesuchten, hochreinen Germaniumdetektoren, entsprechend den Spezifikationen in Tabelle 3, und dazugehörigen tragbaren Meßdatenerfassungssystemen, jedes bestehend aus einem Vielkanalanalysator mit integriertem Hochspannungsteil und integriertem Hauptverstärker sowie einem tragbaren Personal Computer für die Auswertung der Meßdaten.

Für die Handhabung der Meßdaten und der daraus berechneten Endergebnisse wurde ein auf dem Personal Computer installiertes menügesteuertes Dokumentationssystem entwickelt. Das System ist in Anhang 2 zu diesem Bericht beschrieben. Zusätzlich ist dort im Hinblick auf einen eventuellen Gebrauch des Meßsystems durch die Inspektoren der IAEO eine ausführliche Benutzeranleitung beigelegt. Für einen Gebrauch durch die Inspektoren kann das Dokumentationssystem noch an die speziellen Anforderungen angepaßt werden, z.B. kann die explizite Angabe des UF_6 -Gasdrucks unterdrückt werden.

Die ersten Röntgenfluoreszenzmessungen konnten aus Gründen einer fehlenden Umgangsgenehmigung für die Handhabung der ^{57}Co -Anregungsquelle in Gronau nur in Almelo durchgeführt werden.

8.0 Ergebnisse und Diskussion

8.1 Ergebnisse in Almelo

Die primären Meßergebnisse liegen stets in Form von Zählraten vor, aus denen eine Aussage über die ^{235}U -Anreicherung des UF_6 -Gases abzuleiten ist. Die Auswertung erfordert, je nach angewandeter Technik, die Kenntnis verschiedener Eichkonstanten. Die Genauigkeit der Eichkonstanten bestimmt im wesentlichen den systematischen Fehler im Endergebnis. Die Bestimmung der Eichkonstanten erwies sich als problematisch, da hier die Verhältnisse realer Prozeßleitungen in laufenden Anlagen möglichst realistisch reproduziert werden mußten. Dies betraf insbesondere die Massenbelegung der Uranablagerungen und deren gleichförmige Verteilung auf der Rohrwand.

Bei den ersten Messungen in Almelo wurde nur die passive γ -Spektroskopie angewendet, d.h. es wurde keine Dichtebestimmung des Urans im UF_6 -Gas durchgeführt. Bei der Auswertung wurde implizit vorausgesetzt, daß sich die Anreicherungen von Gas und Uranablagerungen nicht unterscheiden. Es wurde keine Annahme über den Anteil der Strahlung gemacht, der von den Uranablagerungen herrührt. Deshalb konnte nur eine Aussage über die Anreicherung der Ablagerungen insgesamt und über die Anreicherung des Gesamtsystems Ablagerung und Gas gemacht werden. Die einzige verwendete Annahme war die Existenz radioaktiven Zerfallsgleichgewichts zwischen den Uranisotopen und ihren Zerfallsprodukten.

Ausgewertet wurden zunächst die Zählraten der γ -Übergänge des ^{235}U von 185,72 keV, des ^{234}Th von 63,29 keV und 92,38 bzw. 92,80 keV sowie des ^{231}Th von 84,214 keV.

Schon die Betrachtung der über den Kaskaden aufgetragenen Einzelzählraten der relevanten γ -Übergänge (Abb.6) gibt einen Hinweis auf die von Kaskade zu Kaskade unterschiedlichen Ablagerungen, wenn davon ausgegangen wird, die Urandichte im Gas sei in engen Grenzen über alle Kaskaden konstant.

Es ist deutlich erkennbar, daß die Zählrate aller γ -Übergänge bei Kaskaden mit hohen Ablagerungen erhöht ist. Das gleiche Verhalten wäre jedoch auch dann erklärbar, wenn die Kaskade seit längerer Zeit mit einem höheren Druck betrieben worden wäre. Kann durch eine zusätzliche Druckmessung bestätigt werden, daß die Kaskade bei normalem Betriebsdruck arbeitet, so ist die erhöhte Zählrate nur durch höhere Ablagerungen zu erklären.

Die relevanten Zählratenverhältnisse sind in Abbildung 7 dargestellt. Das Verhältnis der γ -Zählraten der 185,72 keV und der 63,29 keV Übergänge ist kennzeichnend für die Anreicherung des Gesamtsystems Gas und Ablagerungen. Unter der Annahme gleicher Anreicherung für Gas und Ablagerung ist dieses Verhältnis eine eindeutige Funktion der Gasanreicherung. Weicht der gemessene Wert dieses Verhältnisses von demjenigen Wert ab, der für eine bestimmte Gasanreicherung, z.B. der vom Anlagenbetreiber deklarierten, erwartet wird, so kann die Abweichung bei normalem Betriebsdruck einem veränderten ^{235}U -Anteil im Gas zugeordnet werden. Dieser Anteil läßt sich unter Berücksichtigung der entsprechenden Eichkonstanten in eine Anreicherungsänderung relativ zum deklarierten Wert der Gasanreicherung umrechnen.

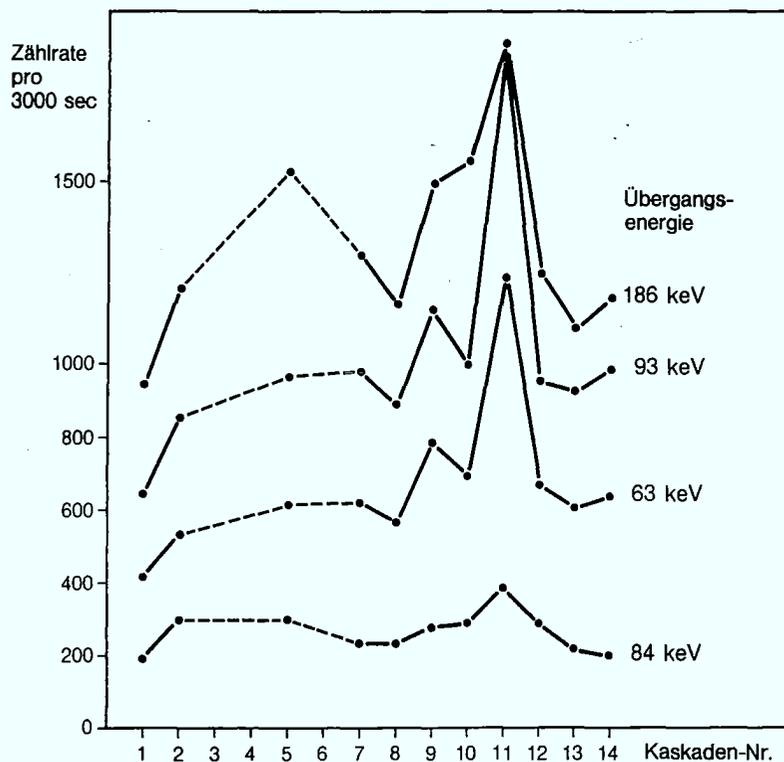


Abb. 6. Verlauf der Zählraten in Almelo

Dies ist im Grunde die gleiche Methodik der Auswertung wie sie bei der Ablagerungs-Korrektur-Technik erfolgt. Der Informationsgehalt und die inhärente Willkür der nicht verifizierbaren, idealisierten Annahme gleicher Anreicherung für Gas und Ablagerung sind identisch. Da noch keine Druckmessungen durchgeführt werden konnten, wurde normaler Betriebsdruck angenommen. Die zu erwartende Gaszählrate des 185,72 keV Übergangs bei Einheitsdruck und einer Gasanreicherung von 1 % wurde in Ermangelung einer anderen geeigneten Eichquelle an einer Feedleitung bestimmt. Hier lag Natururan vor und der UF_6 -Gasdruck war so hoch, daß die Beiträge der Ablagerungen vernachlässigt werden konnten.

Die gleichen Meßergebnisse wurden später auch nach der Ablagerungs-Korrektur-Technik ausgewertet. Sie sind in der Tabelle 5 in der letzten Spalte angegeben. In der zweiten und dritten Spalte der gleichen Tabelle sind die Ergebnisse einer späteren Messung in Almelo dargestellt. Dabei wurden für die Auswertung zwei unterschiedliche

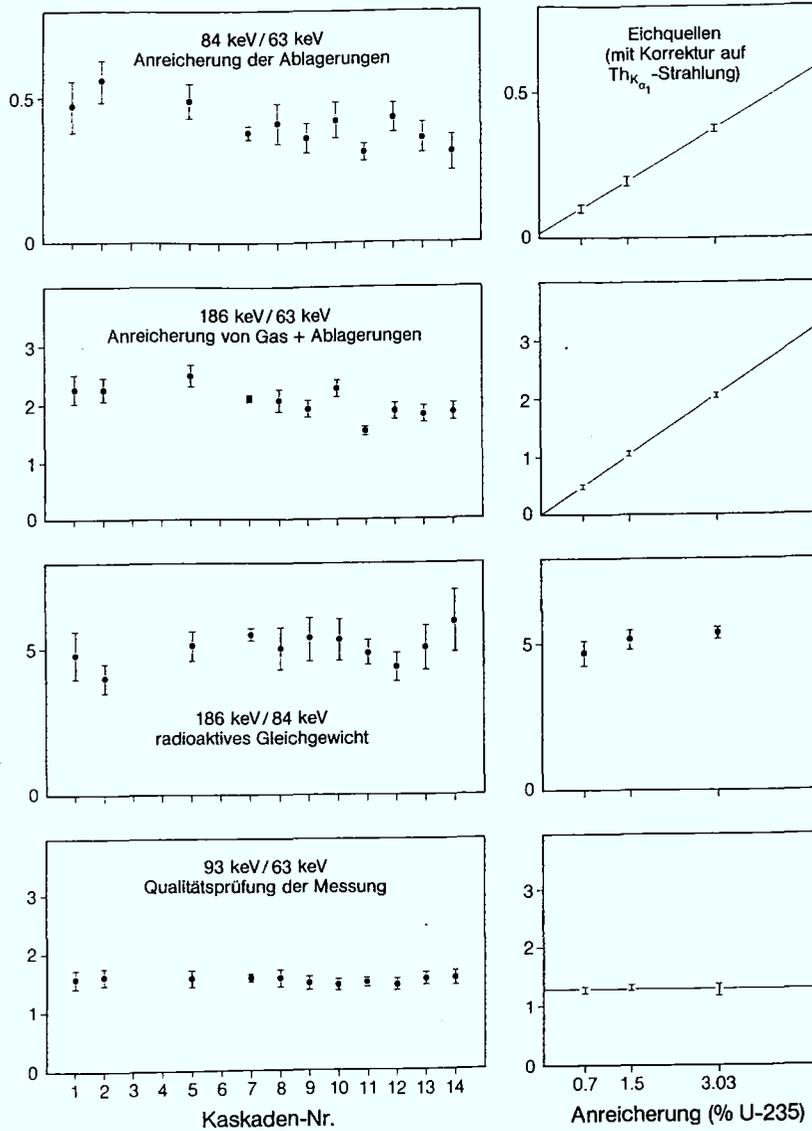


Abb. 7. Verhältnisse relevanter γ -Übergänge: Zum Vergleich sind rechts die entsprechenden Werte dreier Eichquellen aufgetragen

Werte für die Ablagerungsanreicherung angenommen. Schon eine Änderung in der Ablagerungsanreicherung von ca. 0,5 % verursacht im Endergebnis erhebliche Unterschiede.

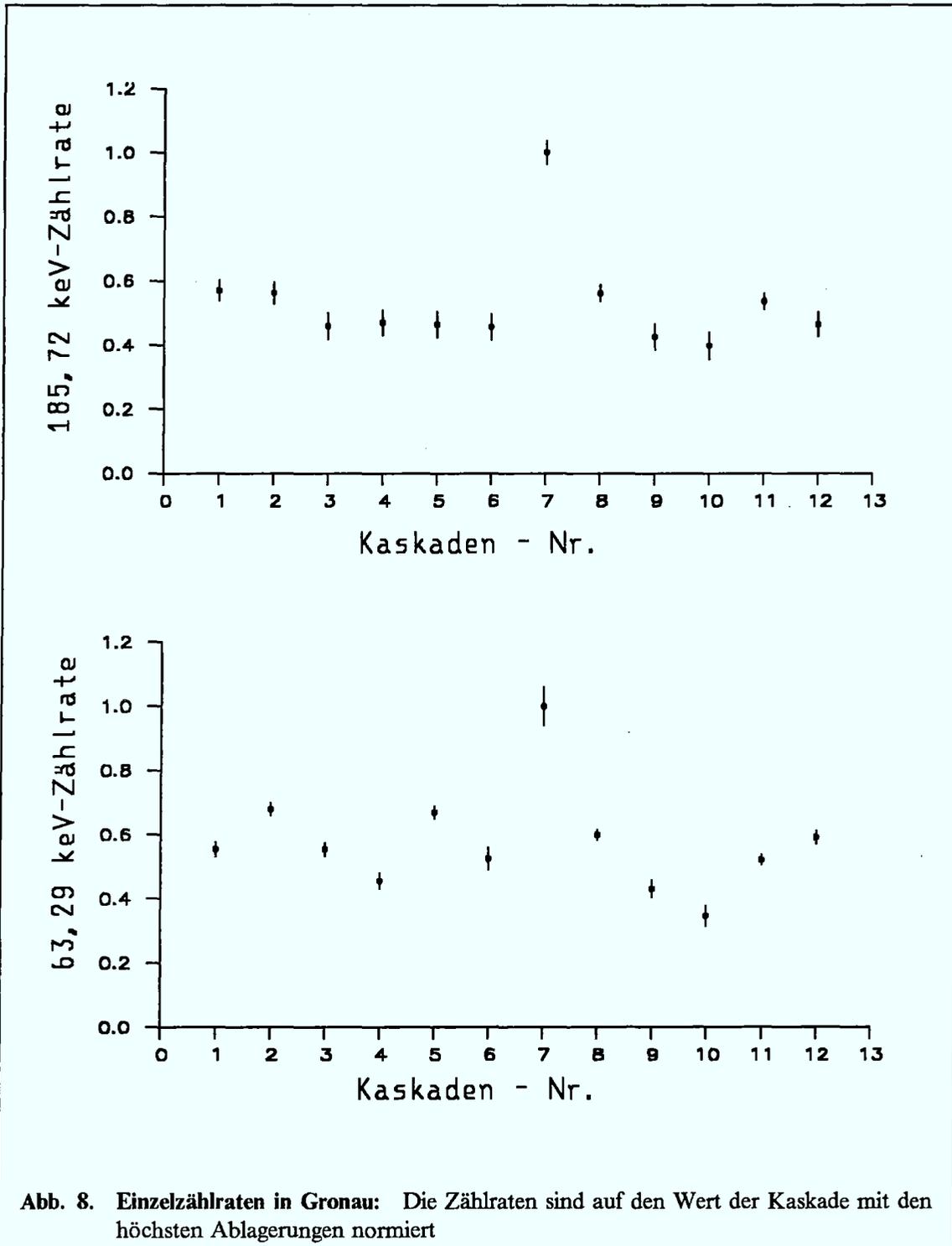
Bereits aus diesen ersten Ergebnissen ist erkennbar, daß die resultierende Gasanreicherung, insbesondere bei hohen Uranablagerungen, sehr empfindlich auf geringfügige Abweichungen des Anreicherungs Wertes der Ablagerungen vom wahren Wert reagiert.

Kaskade	Gemessene Anreicherung in Almelo		
	September 1986		Oktober 1984
	$E = E_{Dekl} = 3,34\%$	$E = 2,8\%$	$E = E_{Dekl} = 2,8\%$
A	$3,7 \pm 4,51$	$10,98 \pm 3,97$	$6,14 \pm 2,37$
B	$2,17 \pm 4,65$	$10,95 \pm 4,20$	$7,11 \pm 2,21$
C	$2,43 \pm 4,18$	$9,83 \pm 3,76$	*
D	$4,10 \pm 4,11$	$12,24 \pm 3,78$	*
E	$2,85 \pm 3,88$	$11,07 \pm 4,19$	$11,35 \pm 2,51$
F	$-1,52 \pm 4,10$	$7,06 \pm 4,08$	*
G	$0,89 \pm 3,40$	$8,75 \pm 3,01$	$4,67 \pm 0,73$
H	$1,63 \pm 3,3$	$8,28 \pm 2,93$	$4,10 \pm 2,52$
I	$0,02 \pm 3,44$	$8,09 \pm 3,03$	$1,50 \pm 2,68$
J	$5,71 \pm 3,62$	$13,04 \pm 3,27$	$7,85 \pm 2,55$
K	$-15,32 \pm 3,81$	$-3,27 \pm 3,23$	$-12,58 \pm 3,26$
L	$-5,77 \pm 3,81$	$2,83 \pm 3,28$	$0,85 \pm 2,36$
M	$-7,91 \pm 3,97$	$0,46 \pm 3,41$	$0,28 \pm 2,53$
N	$-14,76 \pm 3,98$	$-5,29 \pm 3,34$	$0,76 \pm 2,37$

Tab. 5. Meßergebnisse in Almelo: Ergebnisse der Ablagerungs-Korrektur-Technik ausgewertet mit unterschiedlichen Ablagerungsanreicherungen
Mit * gekennzeichnet: keine Messung durchgeführt.

8.2 Ergebnisse in Gronau

Die ersten Messungen in Gronau wurden an Produktleitungen mit gleichen Rohrparametern wie in Almelo durchgeführt. Die Einzelzählraten sind in Abbildung 8 aufgetragen. Auch hier sind deutliche Unterschiede zwischen den Kaskaden erkennbar, deren Ursache in den verschiedenen starken Uranablagerungen zu sehen sind.

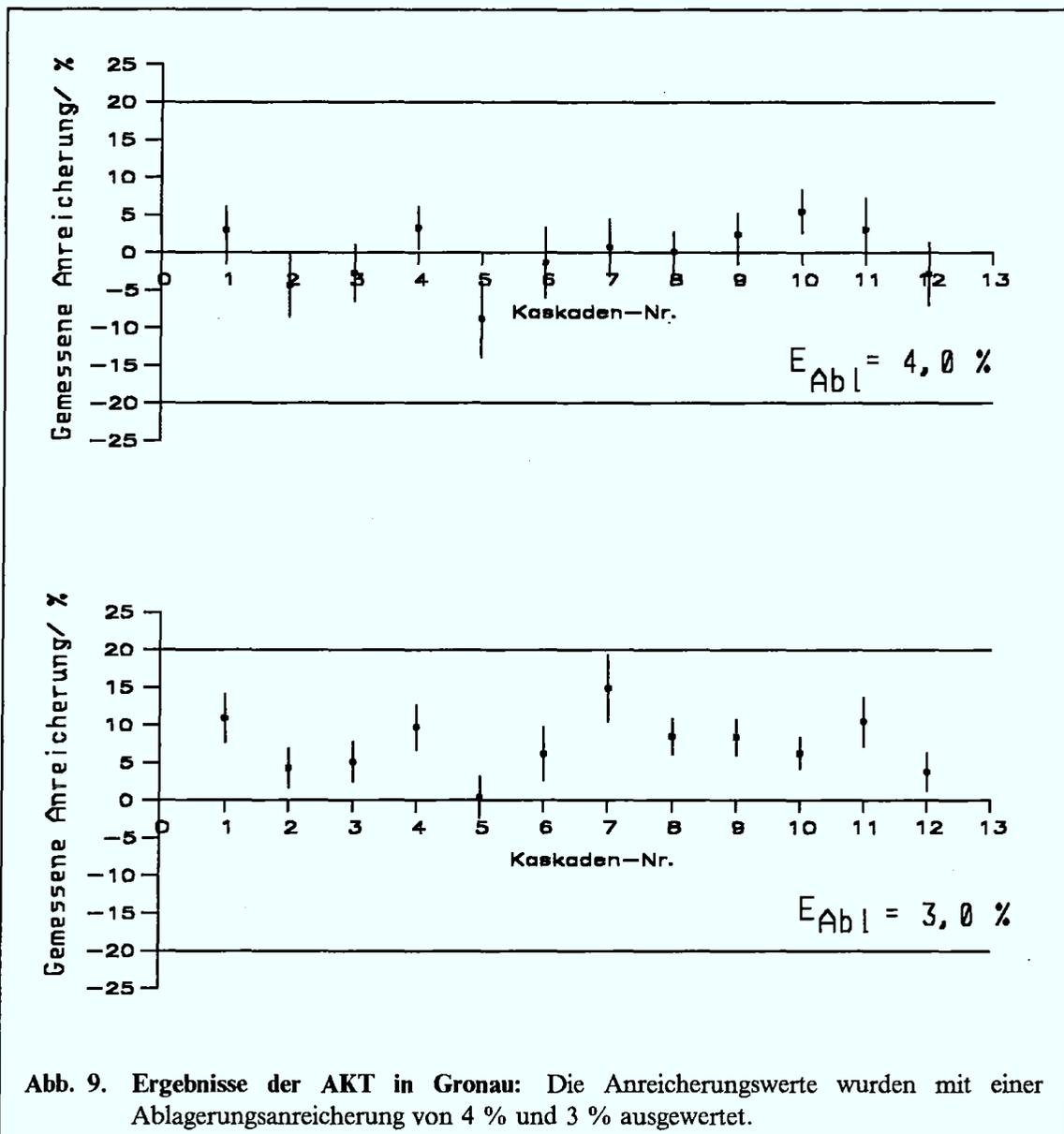


Die weitere Auswertung erfolgte entsprechend der Ablagerungs-Korrektur-Technik. Auch konnte hier keine Urandichtemessung durchgeführt werden, da zu diesem Zeitpunkt noch keine Umgangsgenehmigung für die ^{57}Co -Quelle zur

	Gemessene Anreicherung in Gronau in %	
	<i>Juli 1986</i>	
Kaskade	$E = E_{Dekl} = 4 \%$	$E = 3 \%$
1	3,0±3,1	10,9±3,2
2	-4,3±4,2	4,3±2,6
3	-2,7±3,7	5,1±2,6
4	3,3±2,8	9,7±2,9
5	-8,8±5,0	0,4±2,7
6	-1,3±4,6	6,2±3,5
7	0,7±3,7	14,9±4,4
8	0,1±2,6	8,5±2,3
9	2,4±2,8	8,4±2,3
10	5,5±2,8	6,3±2,0
11	3,1±4,1	10,5±3,2
12	-2,8±4,1	3,8±2,5

Tab. 6. Meßergebnisse in Gronau: Ergebnisse der Ablagerungs-Korrektur-Technik ausgewertet mit zwei unterschiedlichen Werten für die Ablagerungsanreicherung.

Röntgenfluoreszenzanregung vorlag. Die Dichtewerte wurden bei der Auswertung entsprechend den in Almelo verwendeten Werten angenommen. Die gemessenen Anreicherungswerte sind in Tabelle 6 dargestellt. Der vom Anlagenbetreiber angegebene Wert der Gasanreicherung betrug zum Zeitpunkt der Messung 4% und galt unverändert seit Inbetriebnahme der Anlage. Entsprechend wurde dieser Wert auch für die Anreicherung der Ablagerung bei der Auswertung zugrundegelegt.



Die Ergebnisse sind in Spalte 2 der Tabelle 6 gezeigt. Zur Demonstration der Empfindlichkeit gegenüber Änderungen in der Ablagerungsanreicherung wurden dieselben Meßwerte mit einer angenommenen Anreicherung von 3 % ausgewertet. Die Annahme einer Ablagerungsanreicherung von 4 % führt zu Meßergebnissen bei der Gasanreicherung, die relativ gut mit der vom Betreiber angegebenen Anreicherung übereinstimmen. Der Grund hierfür liegt in der Tatsache, daß vom Inbetriebnahmezeitpunkt bis zur Messung nur eine einzige Produktanreicherung erzeugt wurde. Die generell höheren Meßwerte bei einer angenommenen Ablagerungsanreicherung von 3 % deuten auf eine Unterschätzung des Ablagerungsanteils an der 185,27 keV-Strahlung hin. In Abbildung 9 sind die entsprechenden Werte auch graphisch aufgetragen. Die beiden letzten Meßkampagnen in Gronau wurden der Untersuchung der Zwei-Geometrie-Technik gewidmet. Die Messungen wurden an den Produktleitungen von 4 Kaskaden durchgeführt. Dabei wurde sowohl die Kaskade mit

der höchsten Uranablagerung als auch diejenige Kaskade mit der geringsten Uranablagerung in die Messungen einbezogen. Zum Vergleich wurden die an den Produktrohren erhaltenen Meßwerte für die Zwei-Geometrie-Technik mit den Eichparametersätzen 2 bis 4 aus Tabelle 8 ausgewertet. Die Abweichungen sind beträchtlich, und Niedriganreicherung konnte nicht in allen Fällen bestätigt werden. Die Meßwerte für die Parametersätze 2 bis 4 sind in Tabelle 7 zusammengestellt und in Abbildung 10 graphisch dargestellt.

Ergebnisse der Zwei-Geometrie-Technik				
Gronau April 1987				
Kaskaden Nummer	Meßzeit/h	Satz 2	Satz 3	Satz 4
2	7	-20%±9%	-11%±9%	-6%±11%
7	33	3%±9%	7,7%±6,0%	22%±18%
10	3	4,1%±11%	5,0%±11%	11,0%±13,3%
12	7	-3,9%±22%	-0,2%±27%	5,8%±16%

Tab. 7. ZGT-Ergebnisse in Gronau: Zwei-Geometrie-Technik Ergebnisse ausgewertet mit 3 Parametersätzen

Die Bestimmung der Eichparameter gestaltete sich für die beiden Meßtechniken unterschiedlich schwierig. Das hängt davon ab, in welchem funktionalen Zusammenhang die Eichparameter in die Berechnung des Endergebnisses eingehen. Bei der Ablagerungskorrektur-Technik ist der Faktor K für das Verhältnis der relativen Häufigkeiten der beiden nachgewiesenen, relevanten γ -Übergänge und der Proportionalitätsfaktor für die Gasdichtebestimmung leicht zu bestimmen, wenn eine Rohrleitung mit bekannter Anreicherung und bekanntem UF_6 -Gasdruck, z.B. eine Feedleitung, verfügbar ist. Dies gilt entsprechend für die Zwei-Geometrie-Technik.

Dies gilt nicht für die beiden Verhältnisse der Nachweiswahrscheinlichkeiten bei der Messung der 185,72 keV-Strahlung unter den beiden unterschiedlichen Geometrien a_1 und a_2 für Gas und Ablagerung. Besonders a_2 , das Verhältnis der Nachweiswahrscheinlichkeiten für die Ablagerung unter den beiden Geometrien, hängt empfindlich von der Verteilung der Ablagerungen auf der Rohrwand ab. Diese beiden Parameter wurden an drei verschiedenen Quellen bestimmt, mit dem Ergebnis jeweils unterschiedlicher Werte.

Im ersten Fall wurde in Ermangelung einer anderen geeigneten Quelle diejenige Produktleitung mit der größten Ablagerung für den Ablagerungsanteil und eine Feedleitung für den Gasanteil verwendet. Bei der Produktleitung wurde der Gasanteil vernachlässigt und bei der Feedleitung der Ablagerungsanteil.

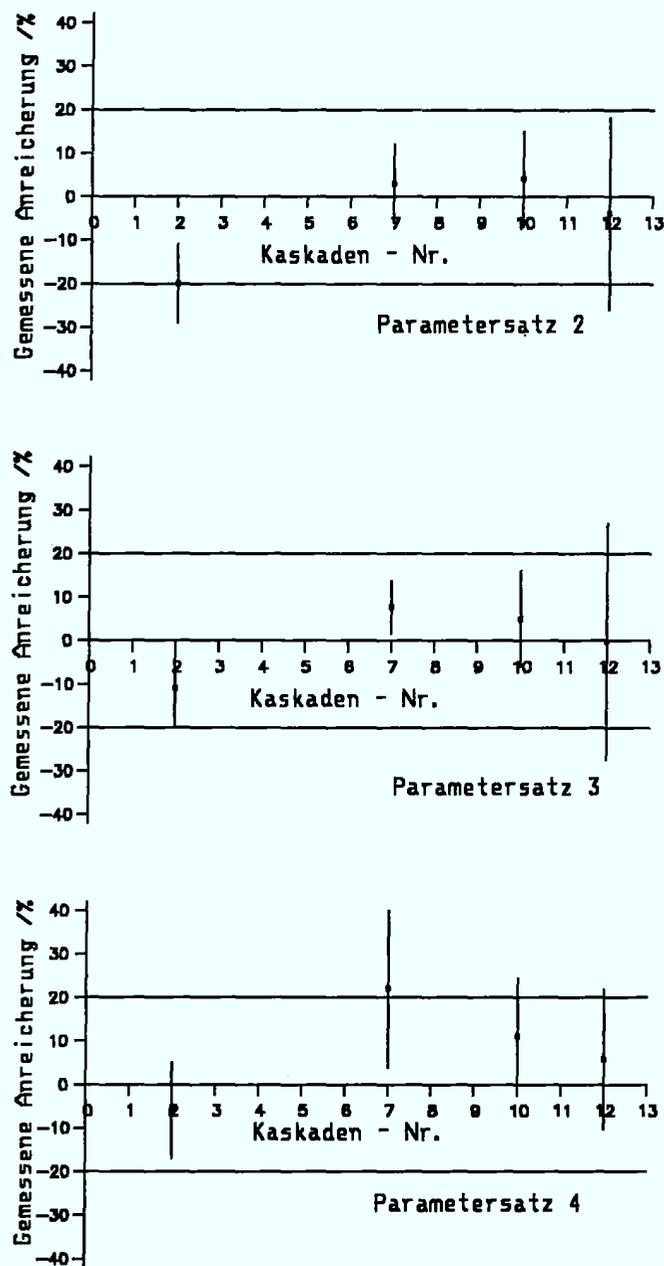


Abb. 10. Ergebnisse der ZGT in Gronau: Ausgewertet mit Parametersätzen 2, 3 und 4

Die mit dieser Methode ermittelten Geometrieparameter wurden nur zur Auswertung der ersten Meßergebnisse herangezogen. Das Resultat war überwiegend unbefriedigend und ist hier nicht dargestellt. Als Ursache wurde die nicht hinreichend genaue Bestimmung der Geometriefaktoren angesehen. Besonders weicht der a_2 -Wert erheblich von allen anderen Parametersätzen ab. Die Genauigkeit dieses Wertes ist jedoch entscheidend für die Qualität der Meßergebnisse.

Eine befriedigende Lösung dieses Eichproblems versprach man sich von einem UF_6 -Testkreislauf bei dem es möglich ist, an Rohrstücken, wie sie als Produktrohre in den realen Anlagen vorkommen, gezielt Ablagerungen zu erzeugen und mit UF_6 -Gas gewünschter Anreicherung und definierten Druckes zu füllen sowie anschließend wieder evakuieren zu können. Ein solcher Teststand wurde der IAEO im Rahmen des US-Unterstützungsprogrammes zur Verfügung gestellt.

Die Ergebnisse der Eichkampagnen mit vier verschiedenen Eichquellen sind in Tabelle 8 dargestellt:

	Satz 1	Satz 2	Satz 3	Satz 4
a_1	$0,475 \pm 0,045$	$0,5182 \pm 0,0300$	$0,484 \pm 0,007$	$0,5497 \pm 0,0051$
a_2	$0,567 \pm 0,035$	$0,6401 \pm 0,0166$	$0,659 \pm 0,015$	$0,6954 \pm 0,0037$

Tab. 8. Gemessene Eichparameter für ZGT: Die Verhältnisse der relativen Nachweiswahrscheinlichkeiten für die Zwei-Geometrie-Technik, gemessen an einer Feedleitung, im Labor und während zweier Meßkampagnen am UF_6 -Teststand in Seibersdorf

Bevor dieser Teststand verfügbar war, wurde im Labor je eine Quelle für Gas und Ablagerung hergestellt, um annähernd realistische Bedingungen zu simulieren. Die Gasquelle war eine Ampulle mit einem der Produktleitung entsprechenden Innendurchmesser, gefüllt mit UF_6 -Gas natürlicher Anreicherung bei einem Druck von 27 hPa. Die Ampulle konnte nicht evakuiert werden, und die Existenz eventuell vorhandener Ablagerungen zusätzlich zum Gas konnte deshalb nicht ausgeschlossen werden. Bei der Bestimmung der relativen Nachweiswahrscheinlichkeit der Ablagerungen unter den beiden Geometrien a_2 wurden die Ablagerungen durch ein Stück Filterpapier simuliert, das gleichmäßig mit einer Uransalzlösung getränkt, anschließend getrocknet und dann auf der Innenseite eines Rohrstückes angebracht wurde. Material und Wandstärke des Rohrstückes entsprachen der Produktleitung, jedoch war der Innendurchmesser hier 2 mm kleiner als bei einer realen der Produktleitung. Systematische Fehler konnten dementsprechend auch hier nicht ausgeschlossen werden. Als nachteilig erwies sich bei diesen Eichquellen auch die Tatsache, daß aus Genehmigungsgründen nur Natururan verwendet werden konnte. Dadurch waren lange Meßzeiten erforderlich um einen statistischen Fehler im Bereich von 1 % zu erreichen.

Nachdem der UF_6 -Testkreislauf bei der IAEO in Betrieb war, wurden die Eichmessungen dort im Verlauf zweier Meßkampagnen durchgeführt. Die Abmessungen und das Material der Testrohre entsprach genau den Spezifikationen der Produktrohre in Almelo bzw. Gronau. Bei der ersten Meßkampagne war entgegen den gestellten Anforderungen eine Ablagerung aus Natururan in den Testrohren erzeugt worden mit der Folge niedriger Nutzzählraten. Der Versuch, eine zusätzliche Ablagerung mit 20 % angereichertem UF_6 -Gas zu erzeugen, mißlang. Zusätzlich war während der Messungen am gasgefüllten Rohr der Gasdruck nicht konstant.

Bei der zweiten Meßkampagne waren diese Mängel beseitigt. An neu beschafften Rohren konnte eine Ablagerung mit einer Anreicherung von ca. 15 % erzeugt werden. Im Verlaufe dieser Messungen stellte sich heraus, daß die Ablagerung nicht gleichmäßig über die Rohrwand verteilt war. Messungen längs der Rohrachse ergaben einen ortsabhängigen, nichtlinearen Gradienten in der Massenbelegung des abgelagerten Urans. Der Verlauf war näherungsweise durch eine Exponentialfunktion beschreibbar. Durch diese nichtlineare Verteilung der Ablagerungen an der Rohrwand wurden die Werte der Eichparameter für die Zwei-Geometrie-Technik ganz erheblich beeinflusst, und trotz eines sehr kleinen statistischen Fehlers waren die Eichparameter systematisch falsch.

Die Erfahrungen mit den Eichmessungen zeigten deutlich ein Problem auf, das dann zum Tragen kommt, wenn die Verteilung der Ablagerungen bei der Eichquelle und beim Produktrohr nicht identisch ist. Selbst wenn es gelänge, eine ideale Eichquelle mit gleichförmig verteilter Ablagerung herzustellen, ist die Identität mit der Ablagerungsverteilung im Produktrohr noch nicht sichergestellt. Geringfügige Abweichungen von einer gleichförmigen Ablagerungsverteilung im Produktrohr können auch bei exakt bestimmten Eichparametern unter Anwendung der Zwei-Geometrie-Technik zu falschen Ergebnissen führen. Dieses Problem läßt sich nicht einmal mit längeren Meßzeiten lösen. Selbst durch die Wahl einer anderen Geometrie kann diese durch die nichtidealen Randbedingungen verursachte Schwäche der Methode nicht beseitigt werden. Die ursprünglich bei der Konzeption der Methode erhoffte Zuverlässigkeit ist damit in Frage gestellt.

Abschließend läßt sich feststellen: die Methode ist unabhängig von Anreicherung und Masse der Ablagerungen, mit der Einschränkung längerer Meßzeiten bei erhöhter Ablagerung. Sie führt jedoch nur bei gleichförmig verteilten Ablagerungen zu vernünftigen Ergebnissen.

9.0 Schlußfolgerungen

1. Umfangreiche Meßergebnisse machen deutlich, daß unter den Randbedingungen, wie sie in Gronau und Almelo vorliegen, unabhängig von der angewendeten Meßtechnik nicht in allen Fällen Niedriganreicherung von ^{235}U mit hinreichender Zuverlässigkeit bestätigt werden kann. Umgekehrt kann aus diesen Ergebnissen auch eine Hochanreicherung ($\geq 20\%$) nicht ausgeschlossen werden, auch wenn keine solche vorliegt.

Bei der passiven γ -Spektroskopie und bei der Ablagerungs-Korrektur-Technik, die im Prinzip vollkommen gleichwertig sind, liegt die Ursache für diesen Mangel an der Unkenntnis der Anreicherung der Wandablagerungen. Zusätzlich können auch ungleichförmige Uran- und Thoriumablagerungen die Meßergebnisse systematisch beeinflussen. Bei der Zwei-Geometrie-Technik ist dagegen allein die Ungleichförmigkeit der Ablagerungen maßgebend für den Fehler der Meßergebnisse.

2. Bei der Berechnung der Ergebnisse der passiven γ -Spektroskopie und der Ablagerungs-Korrektur-Technik wird angenommen, die Anreicherung des UF_6 -Gases und der Uranablagerungen seien gleich. Diese Annahme erscheint plausibel, stimmt aber schon dann nicht mehr, wenn die ^{235}U -Anreicherung im Laufe der Betriebsdauer der Anlage geändert wurde. Aus diesem Grund hängen die Fehler der Meßergebnisse von der Richtigkeit der Anreicherungsabschätzung für die Uranablagerungen ab. Dies wird am Auftreten sowohl von positiven als auch negativen Anreicherungswerten sichtbar. Der durch die Abschätzung der Ablagerungsanreicherung in das Endergebnis eingebrachte Fehler ist systematischer Natur und läßt sich auch durch eine Verbesserung der meßtechnischen Ausstattung nicht beeinflussen.

Der aufgrund der gemessenen Zählraten berechnete Anreicherungsvalue des Gases hängt linear von der tatsächlichen Differenz zwischen der Anreicherung des Gases und der Uranablagerungen ab. Die absolute Größe des Meßergebnisses wird durch das Verhältnis der Massenbelegungen der Ablagerungen und des UF_6 -Gases bestimmt. Dieses Verhältnis ist der Proportionalitätsfaktor zwischen Anreicherungs-differenz und zu korrigierendem Anteil der gemessenen Zählrate. Je größer dieses Verhältnis ist, um so stärker wirkt sich eine Anreicherungs-differenz aus. Sind die Anreicherungen des UF_6 -Gases und der Uranablagerungen gleich, die Differenz verschwindet also, so erübrigt sich eine Korrektur, unabhängig davon wie groß das Verhältnis der Massenbelegungen ist. Hat dieses Verhältnis einen kleinen Wert, d.h. ist die Massenbelegung des Gases groß relativ zu den Uranablagerungen, so ist auch der Einfluß einer tatsächlich vorliegenden Differenz zwischen den Anreicherungen des UF_6 -Gases und der Ablagerungen gering.

Entscheidend für die Anwendung der passiven γ -Spektroskopie und der Ablagerungs-Korrektur-Technik im Hinblick auf eine zuverlässige Bestätigung niedriger Anreicherung sind damit die in einer speziellen Anlage vorliegenden Randbedingungen, d.h. die Größe des Verhältnisses der Massenbelegungen der Ablagerungen und des UF_6 -Gases sowie unterschiedliche Anreicherungsvalue für UF_6 -Gas und Uranablagerungen. Diese Randbedingungen sind offenbar in den

GUZ-Anlagen in Gronau und Almelo unter dem Gesichtspunkt einer zuverlässigen Entscheidung zugunsten der tatsächlich vorliegenden Anreicherung des UF_6 -Gases sehr ungünstig.

- Um die inhärenten Unsicherheiten der passiven γ -Spektroskopie und der Ablagerungs-Korrektur-Technik zu umgehen, wurde die Zwei-Geometrie-Technik vorgeschlagen, die vom Prinzip her unabhängig von der Anreicherung der Ablagerungen ist. Der zugrundeliegende Effekt geringer Unterschiede in den Nachweiswahrscheinlichkeiten für Strahlung, die vom Gasvolumen und von den flächenhaften Ablagerungen bei Messung unter zwei unterschiedlichen Geometrien emittiert wird, kann zur Bestimmung des Gasanteils der Strahlung nur genutzt werden, wenn die Ablagerungen gleichförmig auf der Rohrwand verteilt sind. Jede Ungleichförmigkeit beeinflusst die Nachweiswahrscheinlichkeit in unvorhersehbarer Weise. Dies gilt sowohl für die eigentliche Messung als auch für die Eichmessung. Die Herstellung einer Eichquelle mit gleichförmiger Massenbelegung ist, wenn auch mit einigem Aufwand, vorstellbar. Bei den realen GUZ-Anlagen sind geringe Ungleichförmigkeiten aber nicht auszuschließen. Liegen diese vor, so ist das Meßergebnis mit einem großen systematischen Fehler behaftet. Auch bei der Zwei-Geometrie-Technik hängt damit das Meßergebnis stark von unbekanntem Randbedingungen ab. Da diese ungleichförmigen Massenbelegungen nur bei den Ablagerungen auftreten können, beim Gas wird eine gleichförmige Verteilung im Volumen vorausgesetzt, hat natürlich auch bei der Zwei-Geometrie-Technik das Verhältnis der Massenbelegungen von Uranablagerungen und UF_6 -Gas einen Einfluß auf das Meßergebnis. Ist der Ablagerungsanteil an der emittierten Strahlung gering gegenüber dem Gasanteil, so ist auch die Auswirkung kleiner Ungleichförmigkeiten auf das Meßergebnis gering.

Auch bei der Zwei-Geometrie-Technik sind die Randbedingungen wie bei der Ablagerungs-Korrektur-Technik in den GUZ-Anlagen in Gronau und Almelo sehr ungünstig. Dies wurde deutlich sichtbar, als beide Techniken an derselben Produktleitung angewendet wurden. Die entsprechenden Meßergebnisse sind in den meisten Fällen sehr unterschiedlich, und eine Entscheidung, welches das Zuverlässigere ist, kann nicht getroffen werden. Die ursprüngliche Annahme, die Zwei-Geometrie-Technik sei geeignet, in Zweifelsfällen eine Entscheidung über bestimmungsgemäße Anreicherung herbeizuführen, hat sich damit nicht bestätigt.

- Unter den in den GUZ-Anlagen in Gronau und Almelo vorliegenden Randbedingungen werden die Ergebnisse beider Meßtechniken von nicht abschätzbaren systematischen Fehlern beeinflusst. Es ist nicht auszuschließen, daß aufgrund dieser Fehler niedrige Gasanreicherung nicht bestätigt werden kann, obwohl sie tatsächlich vorliegt. Umgekehrt wäre auch eine Hochanreicherung nicht in allen Fällen nachweisbar, wenn sie tatsächlich vorliegen würde. In Anbetracht einer durch die großen systematischen Fehler erhöhten Fehlalarmwahrscheinlichkeit und der sich beim Auftreten solcher Fehlalarme ergebenden unabsehbaren Konsequenzen wird von einer Anwendung der hier erprobten NDA-Techniken an den z. Zt. in Gronau und Almelo vorhandenen Produktleitungen abgeraten.
- Diese Empfehlung schließt die Anwendung dieser Techniken in anderen Anlagen nicht aus, in denen günstigere Randbedingungen existieren, d.h. wo höhere

UF_6 -Gasdrücke in den Produktleitungen und größere Rohrdurchmesser vorliegen. Es ist dann aber zu prüfen, ob dort die Uranablagerungen noch die relative Bedeutung haben, um die Anwendung der Ablagerungs-Korrektur-Technik oder der Zwei-Geometrie-Technik zu rechtfertigen. Bei Übertragung der hier gewonnenen Ergebnisse auf Anlagen mit beispielsweise doppeltem Produktleitungsdurchmesser und fünffachem UF_6 -Gasdruck bietet sich die einfachste Lösung in Form der passiven γ -Spektrometrie an. Nach entsprechender Eichung des Meßsystems sollte die Bestimmung der Zählrate des 185,27 keV γ -Übergangs des ^{235}U in Verbindung mit einer Röntgenfluoreszenzmessung zur Dichtebestimmung des Urans im UF_6 -Gasstrom ausreichen, um die Existenz niedrig angereicherten Urans im Prozeßbereich einer GUZ-Anlage mit akzeptabler Zuverlässigkeit in Form einer einfachen ja - nein-Aussage zu bestätigen.

10.0 Schrifttum

- /1/ R. Buttler, M.J. Canty, W.-D. Lauppe, B. Richter, G. Stein, R. Müller, E.F.M. Steinebach, A. Reznicek; Internationale Safeguards für Zentrifugenanlagen, Konzepte und Verfahren zur Kernmaterialüberwachung und das internationale Hexapartite-Projekt; Jül-Spez-216, Jülich, August 1983.
- /2/ W.-D. Lauppe, B. Richter, G. Stein; NDA Measurements in the Cascade Area of a Gas Centrifuge Enrichment Plant; Proc. 6. ESARDA Symposium, Venedig, 1984, ESARDA 17, S. 387-391; und JOPAG/05.84-PRG-90.
- /3/ T.W. Packer, R. Howsley and E.W. Lees; Measurement of the Enrichment of Uranium in the Pipework of a Gas Centrifuge Plant; Proc. 6. ESARDA Symposium, Venedig, 1984, ESARDA 17, S. 243-248.
- /4/ J.N. Cooley, L.W. Fields, M.R. Hughes, T.A. Nolan, D.W. Swindle, D.A. Close, J.C. Pratt, R.B. Strittmatter; Results from the Study of UF_6 Consumption on Centrifuge Piping and its Influence on Gamma-Ray Measurements; Proc. 6. ESARDA Symposium, Venedig, 1984, ESARDA 17, S. 393-396.
- /5/ W.-D. Lauppe, B. Richter, G. Stein; Gamma-Ray Spectrometry in the Cascade Area of a Gas Centrifuge Enrichment Plant; JOPAG/01.85-PRG-104.
- /6/ T.W. Packer and E.W. Lees; Measurement of the Enrichment of UF_6 Gas in the Pipework of a Gas Centrifuge Plant; Proc. 7. ESARDA Symposium, Liège, 1985, ESARDA 19, S. 299-303.
- /7/ T.W. Packer, E.W. Lees, A.R. Talbot, J.L. Hirst; Monitoring of the Enrichment of UF_6 Gas in Product Header Pipes in a Centrifuge Enrichment Plant Operating at Low Pressure; AERE Harwell Report, SRDP-R121, February 1985.
- /8/ D.A. Close, J.C. Pratt, H.F. Atwater, J.J. Malanify, K.V. Nixon, L.G. Speir; The Measurement of Uranium Enrichment for Gaseous Uranium at Low Pressure; Proc. 7. ESARDA Symposium, Liège, 1985, ESARDA 19, S. 127-132.
- /9/ D.A. Close, J.C. Pratt, J.J. Malanify, H.F. Atwater; X-Ray Fluorescent Determination of Uranium in the Gaseous Phase; Nucl. Instr. Meth. in Physics Research A234, 1985, S. 556-561.
- /10/ J.N. Cooley, L.W. Fields, D.W. Swindle; Results from Uranium Deposition Studies for Development of a Limited Frequency-Unannounced Access Inspection Strategy for Gas Centrifuge Enrichment Plants; Proc. 7. ESARDA Symposium, Liège, 1985, ESARDA 19, S. 209-213.
- /11/ W.-D. Lauppe, B. Richter, G. Stein; Gamma-Ray Spectrometry in the Cascade Area of a Gas Centrifuge Enrichment Plant; Proc. 26th INMM Meeting, Albuquerque, 1985, Journal of the INMM, Vol.XIV, no. 3, S. 33-38.
- /12/ T.W. Packer, E.W. Lees, D.A. Close, K.V. Nixon, J.C. Pratt, R. Strittmatter; Measurement of the Enrichment of Uranium in the Pipework of a Gas Centrifuge

- Enrichment Plant; Proc. 26th INMM Meeting, Albuquerque, 1985, Journal of the INMM, Vol. XIV, 3, S. 26-32.
- /13/ D.W. Swindle; Application of the Limited Frequency Unannounced Access Strategy Measurement Technology in Gas Centrifuge Enrichment Plants; Proc. 26th INMM Meeting, Albuquerque, 1985, Journal of the INMM, Vol. XIV, no. 3, S. 39-44.
- /14/ S. Yokota, M. Hori, T. Iwamoto, M. Akiba, M. Omae; NDA Measurement of the Enrichment of Uranium in the Product Header Pipes in the Cascade Area; Proc. 26th INMM Meeting, Albuquerque, 1985, Journal of the INMM, Vol. XIV, no. 3, S. 19-25.
- /15/ W.-D. Lauppe, B. Richter, G. Stein; Untersuchungen von möglichen internationalen Sicherungsmaßnahmen für die Uran-Anreicherungsanlage Gronau (UAG); Jül-Spez-331, Jülich, September 1985.
- /16/ W.-D. Lauppe, B. Richter, G. Stein; Non-destructive Verification Techniques for Centrifuge Enrichment Plants; Proc. IAEA Symposium, Nucl. Safeg. Tech. 1986, Vol. 1, S. 279-289; und JOPAG/11.86-PRG-133.
- /17/ W.-D. Lauppe, B. Richter; Measurement of the Enrichment of Uranium-Hexafluoride Gas in Product Pipes in the Centrifuge Enrichment Plant at Almelo; JOPAG/03.87-PRG-138.
- /18/ W.-D. Lauppe, B. Richter, G. Stein; Non-destructive Enrichment Determination in the Cascade Area of Centrifuge Enrichment Plants; Proc. 9. ESARDA Symposium, London, 1987, ESARDA 21, S. 135-139; und JOPAG/05.87-PRG-140.
- /19/ T.W. Packer, D.A. Close, J.C. Pratt; Monitoring the Enrichment of UF_6 Gas in the Pipework of a Gas Centrifuge Enrichment Plant; Proc. 9. ESARDA Symposium, London, 1987, ESARDA 21, S. 129-134.
- /20/ J.K. Aaldijk, P.A.C. De Betuë, R.J.S. Harry; The Problem of Deposits in Enrichment Verification on UF_6 Gas in Pipes; Proc. 9. ESARDA Symposium, London, 1987, ESARDA 21, S. 141-152.
- /21/ K. van der Meer, J.K. Aaldijk; The Two Geometry Method in Safeguards Inspection - Experiments and Calculations; Proc. 9. ESARDA Symposium, London, 1987, ESARDA 21, S. 153-159.
- /22/ D.A. Close, J.C. Pratt; Verification of Uranium Enrichment in Gaseous Centrifuge Header Pipes of Diameter 44.5 mm; Proc. 9. ESARDA Symposium, London, 1987, ESARDA 21, S. 161-165.
- /23/ W.-D. Lauppe, B. Richter, G. Stein; Assessment of NDA Techniques for the Cascade Areas of Centrifuge Enrichment Plants; Proc. 11. ESARDA Symposium, Luxemburg, 1989, ESARDA 22, S. 483-487; und JOPAG/06.89-PRG-181.

Anhang A. Kollimatorabschätzung

A.1 Kollimatoranordnung bei der Zwei-Geometrie-Technik

Uran im UF_6 -Gas und abgelagertes Uran auf der inneren Wandoberfläche bilden zwei räumlich unterschiedlich verteilte Quellen für γ -Strahlung. Dementsprechend sind die relativen Nachweiswahrscheinlichkeiten der von beiden Quellen emittierten γ -Strahlung abhängig von den geometrischen Abmessungen des verwendeten Kollimators. Werden zwei Messungen mit unterschiedlichen Kollimatoren durchgeführt, so sind die relativen Anteile der von den beiden Quellen emittierten und im Detektor nachgewiesenen Strahlung verschieden. Bei der Zwei-Geometrie-Technik wird diese Tatsache zur Separierung des Gasanteils der 185,72 keV-Strahlung ausgenutzt.

Aus Gründen der Praktikabilität wurde in den hier durchgeführten Messungen ein Kollimator in Form eines Längsschlitzes verwendet, der eine Realisierung der beiden unterschiedlichen Geometrien auf sehr einfache Weise ermöglichte. Die Kollimatorgeometrie ließ sich durch eine 90° -Drehung des Kollimators um seine Längsachse zwischen den beiden Messungen verändern, ohne eine sonstige Bewegung des Detektors relativ zum Rohr durchzuführen. Dies war wichtig, da es bei dieser Meßtechnik auf eine hohe Reproduzierbarkeit der Meßgeometrie ankam.

Aus einfachen geometrischen Betrachtungen war offensichtlich, daß die beste Diskriminierung zwischen den Strahlungen beider Quellen mit einem möglichst engen Kollimatorschlitz erreicht werden konnte. Ein enger Kollimatorschlitz führt aber zu einer Verringerung der nachweisbaren Strahlungsintensität. Hier mußte ein Kompromiß zwischen Diskriminierungsfähigkeit und Zählrate gefunden werden. Die günstigste Lösung kann entweder durch Erproben verschiedener Kollimatorschlitzweiten oder durch rechnerische Abschätzung gefunden werden.

Da beide Quellen räumlich ausgedehnt sind, wäre das Problem am besten mit einer Monte Carlo Simulation zu lösen. Dazu müßten verschiedene Kollimatorgeometrien mathematisch modelliert werden und eine große Anzahl von möglichen Strahlengängen berechnet werden. Dies erfordert selbst mit leistungsfähigen Rechnern lange Rechenzeiten.

Es wurde hier deshalb ein anderer Weg eingeschlagen, indem das Problem auf Kosten der Genauigkeit vereinfacht wurde. Zunächst wurde nur eine Kollimatorebene betrachtet unter Vernachlässigung von Streuung und Abschwächung der Strahlung in der Rohr-

wand. Weiter konnten die Symmetrieeigenschaften des Kollimators und der Rohrleitung ausgenutzt werden. Es mußte also nur ein Halbkreis des Rohrquerschnitts betrachtet werden (siehe Abb. 11).

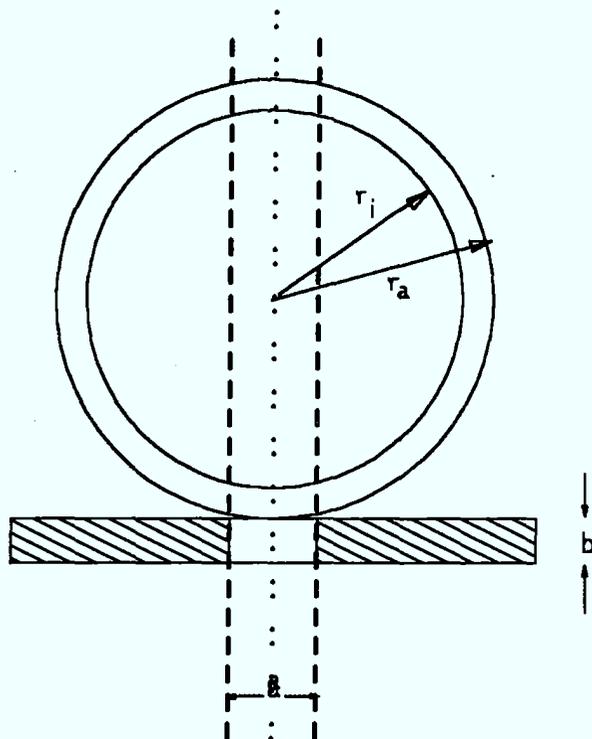


Abb. 11. Geometrie der Meßanordnung

A.2 Betrachtung des Ablagerungsanteils der Gesamtstrahlung

Zunächst soll der Anteil betrachtet werden, mit dem die Wandablagerungen zur Gesamtzählrate beitragen. Da die Anordnung spiegelsymmetrisch zur Mittelsenkrechten ist, kann die Untersuchung auf die Betrachtung eines Halbkreises beschränkt werden. Es wird davon ausgegangen, daß die Wandablagerungen homogen über die Rohrwand verteilt sind. Der Beitrag jedes Elementes der Wandablagerung ist proportional zum Winkel ϕ , mit dem dieses Element auf die hinter dem Kollimator liegende Fläche einstrahlt. In Abb.12 sind beispielhaft zwei Wandelemente D1 und D2 mit ihren Einstrahlungswinkeln dargestellt. Wie aus der Darstellung ersichtlich gibt es, abhängig vom Ort des Elementes, zwei unterschiedliche wirksame Geometrien, die für die Größe des Einstrahlungswinkels maßgebend sind. Die wirksame Geometrie wird von den Kollimatoreckpunkten P1 bis P4 bestimmt. Für Elemente im Bereich B1 wird die wirk-

same Kollimatorgeometrie charakterisiert durch die Punkte P2 und P3, für Elemente im Bereich B2 durch die Eckpunkte P2 und P4.

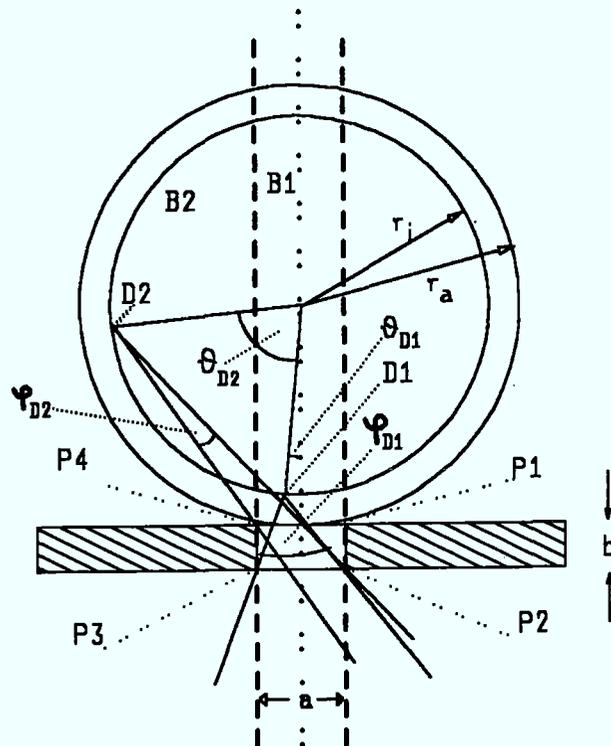


Abb. 12. Wirksame Kollimator-Geometrie

Die jeweils wirksame Geometrie hängt davon ab, ob das Wandelement in den Bereich B1 oder B2 fällt. Die Bereiche B1 und B2 werden durch die Aufteilung des betrachteten Halbkreises mittels der Geraden in Verlängerung der Kollimatorseite P3 - P4 definiert. Die Lage der Wandelemente D1 und D2 in den Bereichen B1 bzw. B2 wird durch die Winkel ϑ_{D1} und ϑ_{D2} bestimmt. Die zu den Wandelementen gehörenden Öffnungswinkel sind durch φ_{D1} bzw. φ_{D2} markiert. Die Grenzwinkel für die Lage der Wandelemente, d.h. diejenigen Winkel, die durch die Abgrenzung der Bereiche B1 und B2 bestimmt werden, sind in Abb. 13 mit ϑ_1 bzw. ϑ_2 gekennzeichnet.

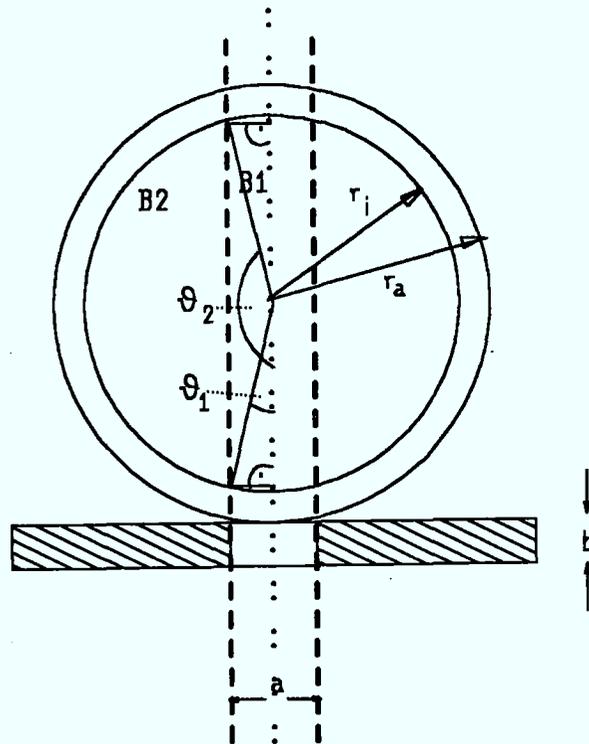


Abb. 13. Bestimmung des Begrenzungswinkels für die Bereiche B1 und B2

Sie werden von der Weite der Kollimatoröffnung a sowie vom Innendurchmesser r_i des Rohres nach folgenden Beziehungen bestimmt:

$$\sin \vartheta_1 = \frac{a/2}{r_i}$$

$$\vartheta_1 = \arcsin \frac{a}{2r_i}$$

$$\vartheta_2 = \pi - \vartheta_1$$

Zur Berechnung des Öffnungswinkels im Bereich B1 tragen zwei Bereiche des die Lage des Wandelementes bestimmenden Winkels ϑ bei:

$$0 \leq \vartheta \leq \vartheta_1 \text{ und } \vartheta_2 \leq \vartheta \leq \pi$$

Daher ist zunächst φ des Teilbereiches von B1, $0 \leq \vartheta \leq \vartheta_1$, auszuwerten (siehe Abb. 14).

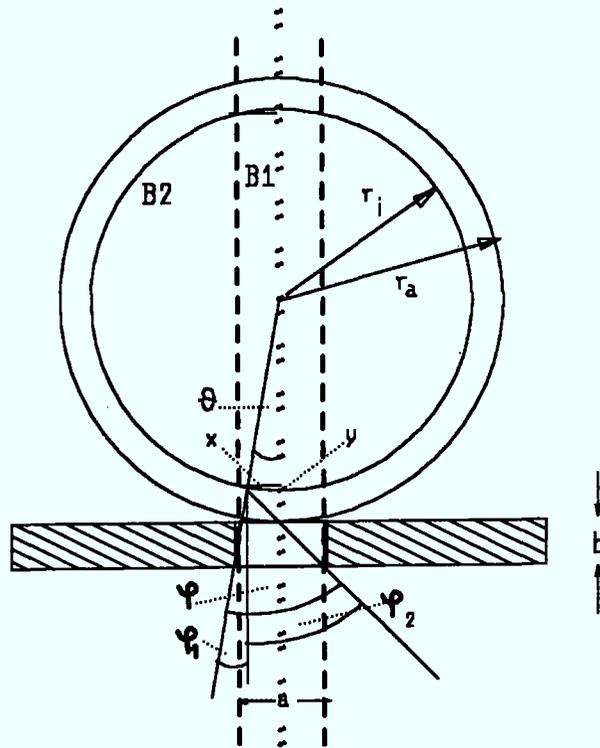


Abb. 14. Bestimmung des Winkels φ für Bereich B1: Gültig für den Winkelbereich $0 \leq \vartheta \leq \vartheta_1$,

Es gilt:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$$

mit

$$\tan \varphi_1 = \frac{a/2 - x}{b + (r_a - r_i) + y}$$

$$\tan \varphi_2 = \frac{a/2 + x}{b + (r_a - r_i) + y}$$

wobei

$$x = r_i \sin \vartheta$$

$$y = r_i(1 - \cos \vartheta)$$

ist.

Außer der Lage des Wandelementes gehen auch die Kollimatorabmessungen a und b sowie die Innen- und Außendurchmesser des Rohres in die Berechnung ein.

Der erste Teil des Öffnungswinkels für den Bereich B1 kann dann durch die folgende Beziehung ausgedrückt werden:

$$\varphi = \arctan \frac{a/2 - r_i \sin \vartheta}{b + r_a - r_i \cos \vartheta} + \arctan \frac{a/2 + r_i \sin \vartheta}{b + r_a - r_i \cos \vartheta} \quad [F1]$$

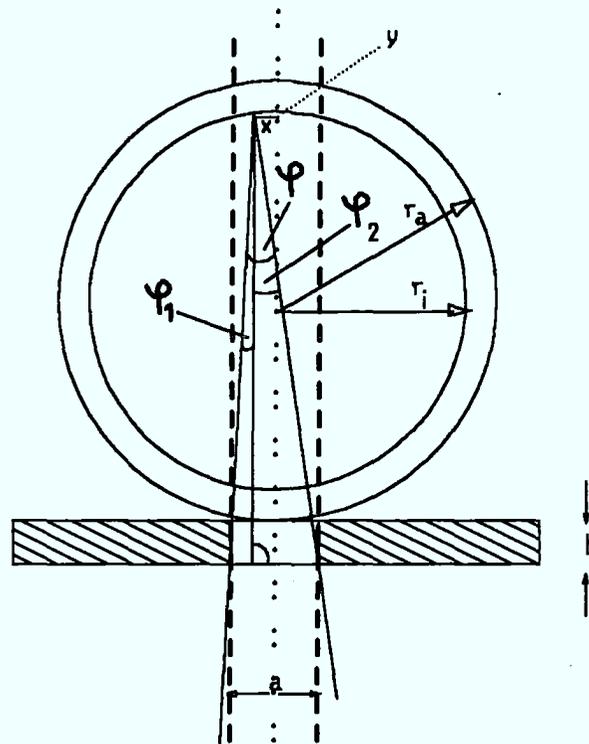


Abb. 15. Bestimmung des Winkels φ für Bereich B1: Gültig für den Winkelbereich $\vartheta_2 \leq \vartheta \leq \pi$

Daß Formel F1 auch für den Winkelbereich $\vartheta_2 \leq \vartheta \leq \pi$ des Bereiches B1 gilt, läßt sich wie folgt (siehe Abb. 15) zeigen:

Es ist wiederum:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$$

mit

$$\tan \varphi_1 = \frac{a/2 - x}{b + r_a + r_i - y}$$

$$\tan \varphi_2 = \frac{a/2 + x}{b + r_a + r_i - y}$$

$$x = r_i \sin (\pi - \vartheta) = r_i \sin \vartheta$$

$$y = r_i (1 - \cos (\pi - \vartheta)) = r_i (1 + \cos \vartheta)$$

Mit dem Ergebnis:

$$\varphi = \arctan \frac{a/2 - r_i \sin \vartheta}{b + r_a - r_i \cos \vartheta} + \arctan \frac{a/2 + r_i \sin \vartheta}{b + r_a - r_i \cos \vartheta}$$

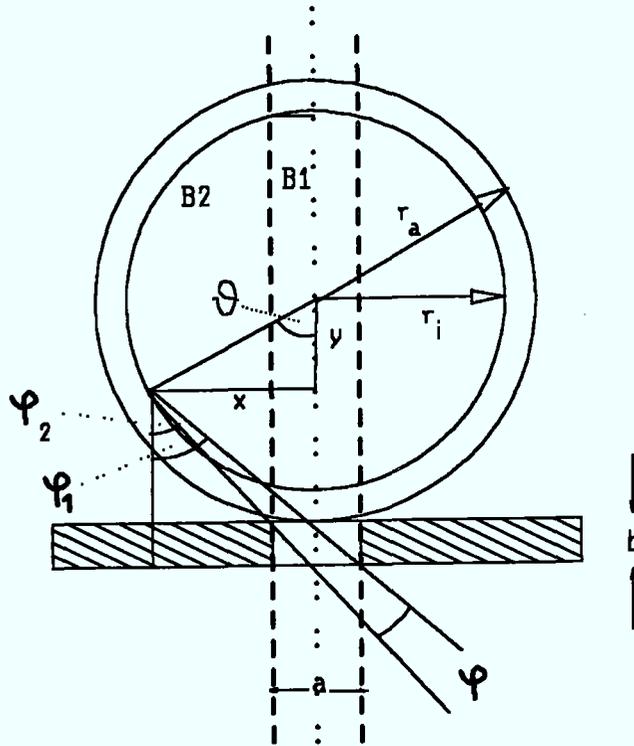


Abb. 16. Bestimmung des Winkels φ für den Bereich B2

Für den Bereich B2, den Bereich des Lagewinkels $\vartheta_1 \leq \vartheta \leq \vartheta_2$ des Wandelementes gilt

$$\varphi = \max \{0, (\varphi_1 - \varphi_2)\}$$

mit

$$\tan \varphi_1 = \frac{a/2 + x}{b + r_a - y}$$

$$\tan \varphi_2 = \frac{x - a/2}{r_a - y}$$

$$x = r_i \sin \vartheta$$

$$y = r_i \cos \vartheta$$

führt dies zum Ergebnis für den Öffnungswinkel:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \arctan \frac{a/2 + r_i \sin \vartheta}{b + r_a - r_i \cos \vartheta} - \arctan \frac{r_i \sin \vartheta - a/2}{r_a - r_i \cos \vartheta}$$

Zusammenfassend lassen sich die Anteile der Öffnungswinkel für die Wandelemente auch in folgender Form schreiben:

Für den Winkel φ gilt:

$$\varphi(\vartheta) = \left\{ \begin{array}{ll} f_1(\vartheta) & , 0 \leq \vartheta \leq \vartheta_1 \\ \max \{0, f_2(\vartheta)\} & , \vartheta_1 \leq \vartheta \leq \vartheta_2 \\ f_1(\vartheta) & , \vartheta_2 \leq \vartheta \leq \pi \end{array} \right\}$$

mit

$$f_1(\vartheta) = \arctan \frac{a/2 - \sin \vartheta}{b + r_a - r_i \cos \vartheta} + \arctan \frac{a/2 + r_i \sin \vartheta}{b + r_a - r_i \cos \vartheta}$$

$$f_2(\vartheta) = \arctan \frac{a/2 - r_i \sin \vartheta}{r_a - r_i \cos \vartheta} + \arctan \frac{a/2 + r_i \sin \vartheta}{b + r_a - r_i \cos \vartheta}$$

$$\vartheta_1 = \arcsin \frac{a}{2r_i}$$

$$\vartheta_2 = \pi - \vartheta_1$$

Der Beitrag der Ablagerungen zur Gesamtzahlrate kann in Form eines Integrals zusammengefaßt werden:

$$D = K_0 \int_0^\pi \varphi(\vartheta) d\vartheta$$

Dabei hat $\varphi(\vartheta)$ für die verschiedenen Bereiche von ϑ die Form:

$$\varphi(\vartheta) = \left\{ \begin{array}{ll} f_1(\vartheta, r) & ; 0 \leq \vartheta \leq \vartheta_1; r = r_i \\ \max\{0, f_2(\vartheta_2)\} & ; \vartheta_1 \leq \vartheta \leq \vartheta_2; r = r_i \\ f_1(\vartheta, r) & ; \vartheta_2 \leq \vartheta \leq \pi; r = r_i \end{array} \right\}$$

wobei gilt:

$$f_1(\vartheta, r) = \arctan \frac{a/2 - r \sin \vartheta}{b + r_a - r \cos \vartheta} + \arctan \frac{a/2 + r \sin \vartheta}{b + r_a - r \cos \vartheta}$$

$$f_2(\vartheta, r) = \arctan \frac{a/2 - r \sin \vartheta}{r_a - r \cos \vartheta} + \arctan \frac{a/2 + r \sin \vartheta}{b + r_a - r \cos \vartheta}$$

$$\vartheta_1 = \arcsin \frac{a}{2r_i}$$

$$\vartheta_2 = \pi - \vartheta_1$$

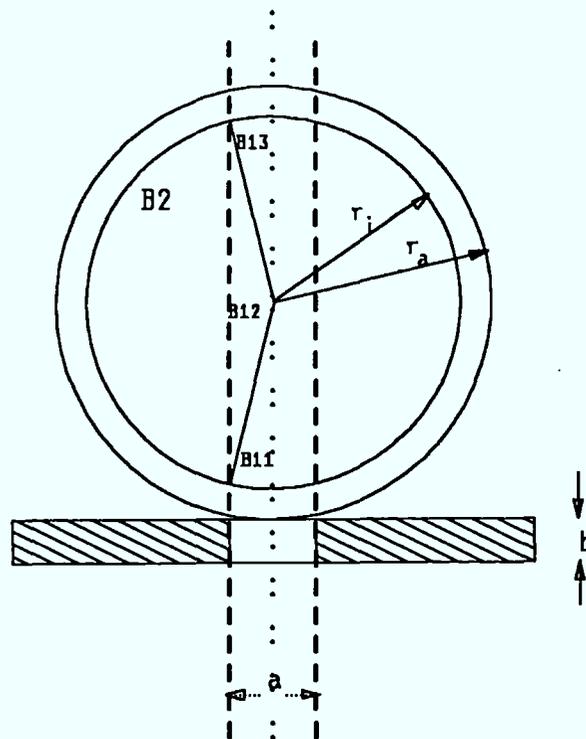


Abb. 17. Integrationsgrenzen für die Bestimmung des Gasanteils

Die Bestimmung des Gasanteils zur Gesamtzählrate erfolgt mit dem gleichen Ansatz, wobei zusätzlich der Radius r zwischen 0 und r_i variiert wird. Wegen der unterschied-

lichen Integrationsgrenzen wird der Bereich B1 (siehe Abb. 13) in die Bereiche B₁₁, B₁₂ und B₁₃ aufgeteilt (siehe Abb. 17).

Für den Bereich B1 wird auch für den Gasanteil die wirksame Kollimator-Geometrie durch die Punkte P2 und P3 charakterisiert. Für die Kreissegmente B11 und B13 erfolgt die Integration über den Radius innerhalb der Grenzen $0 \leq r \leq r_i$. Für die Fläche B12 ist der Integrationsradius abhängig vom Winkel ϑ , die Grenzen sind hier durch $0 \leq r \leq r_x$ gegeben mit

$$r_x = \frac{a/2}{\sin \vartheta}$$

Damit ergibt sich der Gasanteil der in den Unterbereichen von B1 gelegenen Raumelemente zu

$$\text{für B11} \quad \int_0^{\vartheta_1} \int_0^{r_i} f_1(\vartheta, r) dr d\vartheta$$

$$\text{für B12} \quad \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \int_0^{r_x} f_1(\vartheta, r) dr d\vartheta$$

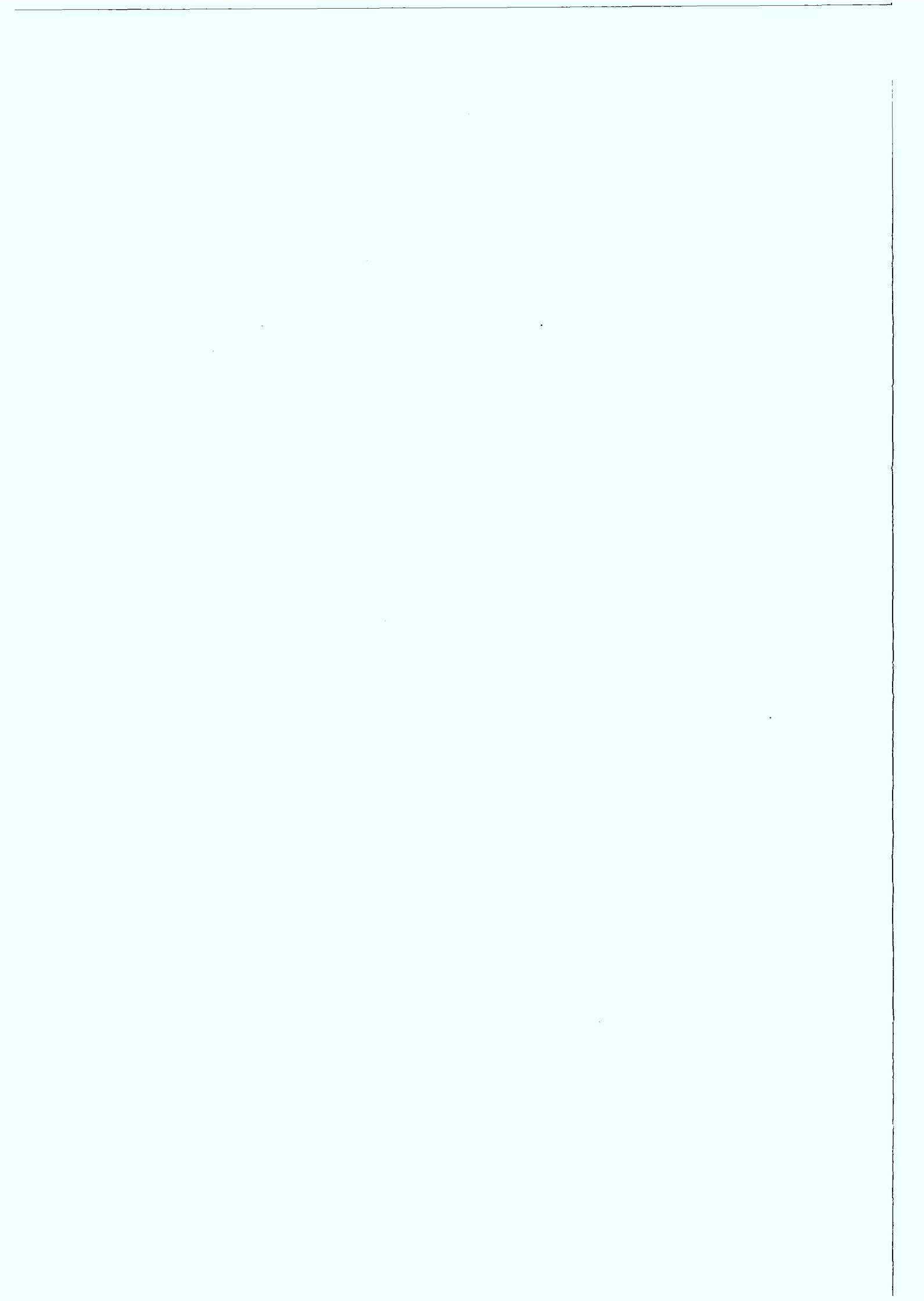
$$\text{für B13} \quad \int_{\vartheta_2}^{\pi} \int_0^{r_i} f_1(\vartheta, r) dr d\vartheta$$

Für die Raumelemente in B2 gilt

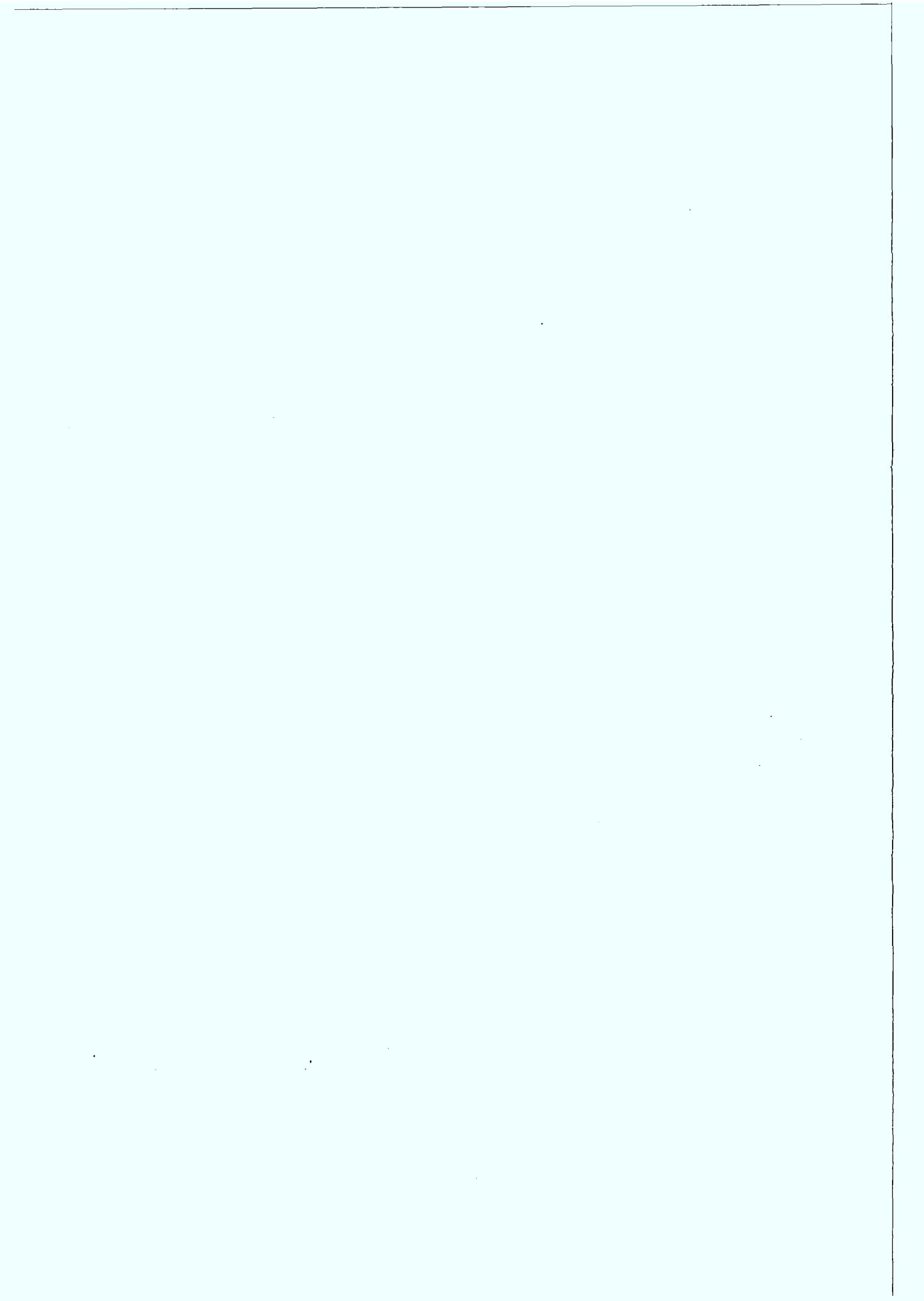
$$\int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \int_{r_x}^{r_i} f(\vartheta, r) dr d\vartheta$$

$$\text{mit } f(\vartheta, r) = \max \{0, f_2(\vartheta, r)\}$$

Anhang B. Benutzeranleitung zur Meßdatendokumentation



<u>INHALT</u>	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Installation des Programmes	1
3. Das Hauptmenü	3
3.1 Neuen Datensatz anlegen	3
3.1.1 Röntgenfluoreszenz-Messungen	5
3.1.2 Deposit Correction Methode	7
3.1.3 Zwei-Geometrie-Methode	9
3.2 Datensätze bearbeiten	10
3.3 Auswertungen	16
3.4 Datenbankinformationen anzeigen	18
3.5 Entscheidungsprozedur LFUA	18
4. Erläuterung wesentlicher Begriffe und Verfahren	20
4.1 Datensatz	20
4.2 Datensatzfelder	20
4.3 Menü	20
4.4 Bildschirmmasken	21
4.5 Bildschirmseite	21
4.6 Positionieren	22
4.7 Auswahl von Datensätzen	22
Anhang	
I. Menü- und Funktionsstruktur; Verarbeitungsschema	1
I. Liste der Datensatzfelder	3
III. Beschreibung der Datensatzfelder	5



1. Einleitung

Als Folgeaktivität zum Hexapartite Safeguards Project (HSP) wird von der KFA Jülich in Kooperation mit UKAEA Harwell und ECN Petten ein Forschungsprogramm zur Sicherungskontrolle von GUZ Anlagen durchgeführt.

Die Hauptzielsetzung dieses Programms ist es, zu untersuchen, ob ein gamma-spektroskopisches Messverfahren gefunden werden kann, das eine Bestimmung des Anreicherungsgrades nach den in HSP vereinbarten Bedingungen erlaubt.

Das Programm zur Verwaltung der GUZ-Meßdaten dient dazu, die in den Meßreihen gesammelten Daten zu erfassen und in einer geeigneten Form für Auswertungen zur Verfügung zu stellen. Im Programm werden folgende Messungen berücksichtigt:

- Röntgenfluoreszenzmessung (XRF)
- Deposit-Correction-Methode (DCT)
- 2-Geometrie-Methode (2GT)

Für diese Messungen können jeweils die relevanten Meßkonstanten und Daten eingegeben und die Ergebnisse berechnet werden. Meßdaten und Ergebnisse können zu unterschiedlichen Listen aufbereitet werden. Es steht eine Testprozedur zur Verfügung, mit der eine Aussage über den Anreicherungsgrad im Sinne der Vereinbarungen des Hexapartite-Projektes getroffen werden kann.

2. Installation des Programms

Das Programm zur Verwaltung der GUZ Meßdaten wurde für IBM kompatible Personal Computer auf der Basis des Standard-Softwarepaketes "CLIPPER" erstellt und besteht aus folgenden Dateien:

GUZDAT.EXE	Programmdatei
GUZDAT.DBF	Datendatei
GUZDAT.DBT	Datendatei (Memo-Felder)
GUZDAT.DBD	Hilfsdatei (Beschreibung des Datensatzaufbaues)

Bei der erstmaligen Installation werden folgende Dateien zusätzlich erstellt:

GUZDAT.FLD	Hilfsdatei (Aufbau der Datendatei)
GUZDAT.MEM	Hilfsdatei (Initialisierungswerte der Variablen)
GUZDAT.NTX	Indexdatei
GZCONFIG.MEM	Hilfsdatei (Konfigurationsdaten)

Die Dateien können in unterschiedlichen Directories abgelegt werden. Die Programmdatei und die Hilfsdateien werden im aktuellen Directory erwartet; für die Datendateien kann ein gesondertes Directory vereinbart werden. Für Ausgabeabteilungen, die mit den Auswertungsfunktionen des Programmes erstellt werden, kann ebenfalls ein gesondertes Directory benannt werden. Die Angabe dieser Directories erfolgt im Konfigurationsmenü.

Wird das Programm erstmalig aufgerufen, so erscheint zunächst folgende Eingabemaske, mit der diese Konfigurationsangaben erfragt werden:

Programm konfigurieren	
Laufwerk für Programm und Daten: D	
Directory für aktuelle Daten-Dateien (mit \ abschließen): D:\GUZ\DATEN\	
Directory für Ausgabedateien (mit \ abschließen) : D:\GUZ\TEXTE\	
Drucker:	[0] ohne Druckersteuerung [1] EPSON FX80 und Kompatible [2] [3]
Auswahl: 1	

Bitte Daten eingeben ...

Zunächst ist das aktuelle Laufwerk anzugeben, auf dem die Dateien abgelegt sind. Anschließend können die Directories für aktuelle Datendateien und für die Ausgabedateien benannt werden. Werden für diese Dateien keine besonderen Directories vorgesehen, so bleibt die Eingabe leer. Die Konfigurationsangaben werden in der Datei GZCONFIG.MEM gespeichert.

Der einfachste Weg, das Programm neu zu konfigurieren, besteht darin, die Datei GZCONFIG.MEM zu löschen. Beim nächsten Aufruf des Programmes werden dann die Konfigurationsangaben neu erfragt.

3. Das Hauptmenü

Das Programm zur Verwaltung der GUZ Meßdaten wird aufgerufen durch den Befehl: GUZ

Nach dem Aufruf erscheint zunächst das Hauptmenü:

1 Meßdaten GUZ	HAUPTMENÜ	23.06.88
[1] Neuen Datensatz anlegen		
[2] Datensätze auswählen zum - Anzeigen, Ändern oder Löschen		
[3] Auswertungen starten		
[4] Datenbank Informationen anzeigen - Größe, Felder, Pack		
[5] Entscheidungsprozedur LFUA		
[0] Rückkehr		
Bitte Auswahl-Nummer eingeben:		

Das Hauptmenü enthält 6 Aktionsmöglichkeiten, die jeweils durch die zugeordnete Auswahlziffer ausgewählt werden können.

3.1 Neuen Datensatz anlegen

Option 1 "Neuen Datensatz anlegen" dient dazu, Daten einer Messung erstmalig zu erfassen. Bei den Daten einer Messung werden allgemeine und spezifische Angaben unterschieden. Die spezifischen Angaben variieren mit der Art der Messung. Sie werden daher erst dann erfragt werden, wenn eine Angabe über die Art der Messung vorliegt. Zunächst werden zu jeder Messung die allgemeinen Daten angefordert.

Wird Option 1 im Hauptmenü gewählt, so wird anschließend folgende Eingabemaske angezeigt:

Datensatz Nr. 5

Anreicherungs-messung		Seite 1
Anlage	[]	Band-Nr. [] Messg 1
Halle	[]	Seite [A,B].... []
Kaskade,Feed/Prod/Tail...	[]	Position [1-5].[]
Messmethode [2GT,DCT,XRF]	[]	Datei-Name [.CHN]
Datum der Messung	[. .]	
Uhrzeit Beginn [HH:MM]...	[:]	
Uhrzeit Ende [HH:MM]....	[:]	
Dauer der Messung [s]....	[0]	

Die Eingabemaske ist bis auf einige Felder, die eine Standardvorbesetzung enthalten, leer. In der Zeile oberhalb der Eingabemaske wird die aktuelle Datensatznummer angezeigt und in der Zeile am unteren Bildschirmrand die Meldung:

Bitte Daten eingeben ...

In dieser Maske werden die allgemeinen Angaben zur durchgeführten Messung erfragt, wie z.B. Anlage, Halle und Kaskade, an der die Messung durchgeführt wurde. Die Angabe der Uhrzeit für Beginn und Ende der Messung haben eher dokumentarischen Charakter. Aufgrund der notwendigen Totzeitkorrektur kann die Dauer der Messung nicht aus diesen Angaben vom Programm bestimmt werden. Die Dauer der Messung wird daher explizit erfragt.

Die Messungen werden im Vielkanal auf Kassetten gespeichert. Diese Kassetten werden jeweils durch eine Bandnummer gekennzeichnet. Die Bänder können beidseitig beschrieben werden und die Bandlänge reicht für fünf Messungen pro Bandseite. Die Angaben von Bandnummer, Bandseite und Bandposition dienen damit zur eindeutigen Identifizierung einer Messung. Die Speicherung der Daten kann alternativ, bei entsprechender Ausstattung, auch direkt auf einem angeschlossenen Personalcomputer erfolgen. In diesem Fall werden die Meßdaten auf dem Massenspeicher des PC's in einer Datei abgelegt (die auf den Kassetten gespeicherten Meßdaten können auch nachträglich auf Diskette übertragen werden). Dieser Dateiname kann ebenfalls zur Kennzeichnung der Messung angegeben werden.

Diese allgemeinen Angaben sind für alle Messungen gleich. Sind diese Eingaben abgeschlossen, so wird die Eingabemaske in Abhängigkeit der eingegebenen Meßmethode ergänzt.

Der generelle Ablauf ist für alle Messungen gleich, nur die einzugebenden Daten variieren.

3.1.1 Röntgenfluoreszenz-Messungen

Wurde als Meßmethode "XRF" für Röntgenfluoreszenz-Messungen angegeben, so wird die Eingabemaske wie folgt ergänzt:

Anreicherungs-messung				Seite 1	
Anlage .....	[	]		Band-Nr.	[] Messg 1
Halle .....	[	]		Seite [A,B]....	[]
Kaskade,Feed/Prod/Tail...	[	]		Position [1-5].	[]
Messmethode [2GT,DCT,XRF]	[XRF]			Datei-Name	[.CHN]
Datum der Messung	[01.01.88]				
Uhrzeit Beginn [HH:MM]...	[:]			
Uhrzeit Ende [HH:MM]....	[:]			
Dauer der Messung [s]....	[0]				
Kollimatorgeometrie [Angaben in mm]					
Breite .[10]	Höhe .[50]	Dicke .[6]			
Quelle ..[CO-57]	Quellstärke in MBq .[0.00]	Bezugsdatum [. .]			
	am Tag der Messung .[■■■■.■■■]				
Kanäle	Untergrund	Peak	Untergrund		
	Anfg Ende	Anfg Ende	Anfg Ende	Netto-Peak-F1	Fehler
98 keV	[0][0]	[0][0]	[0][0]	[0]	[0]

Nach den Angaben zur Kollimatorgeometrie werden Angaben zur Strahlungsquelle erfragt. Dabei ist die Stärke der Strahlungsquelle in Megabequerel und das Datum, an dem diese Strahlungsstärke bestimmt wurde, anzugeben. Vom Programm wird dann die Stärke der Strahlungsquelle am Tag der Messung bestimmt. Bei den Angaben zum gemessenen Spektrum sind mindestens Angaben zur Nettopeakfläche und entsprechendem Fehler für den 98 KeV Peak erforderlich.

Ist die erste Seite der Eingabemaske vollständig ausgefüllt, so ändert sich die Zeile unterhalb der Maske und zeigt die nächsten möglichen Optionen an:

[E]ditieren, [N]ächste Seite, [V]orige Seite, [S]peichern/Verwerfen

Die Optionen können ausgewählt werden durch Eingabe des Buchstabens, der in eckigen Klammern aufgeführt ist. In der Regel ist dies der Anfangsbuchstabe der jeweiligen Option. Wird die Option E (editieren) gewählt, so können die Einträge in der aktuell angezeigten Bildschirmseite geändert werden. Bei Option N (nächste Seite) wird die nächste Seite der Eingabemaske angezeigt und die Daten können in die entsprechenden Felder eingetragen werden.

Edit-Modus; HILFE: F1 ; Datei lesen/schreiben: F2/F3

Anreicherungs-messung		Datenblatt 2	
Band-Nr.:	Seite:	Position:	Messmethode: XRF
Druckmessung: Band-Nr.: [] Seite: [] Position: [] Datei-Name: []			
Druck [mbar] gemessen: [0.00]		berechnet: [0.00] ± [0.00]	
Kalibrierungsgerade Intercept B: [] Slope m: [] [1/(s mBar %)]			
Anreicherung deklariert: [] berechnet: [] ± []			
Bemerkungen:			

[E]ditieren, [N]ächste Seite, [V]orige Seite, [S]peichern/Verwerfen

Im Kopftteil der zweiten Seite werden die Angaben, die zur Identifizierung der Messung dienen, wiederholt. Weiter ist hier nur eine Angabe zum gemessenen bzw. vom Betreiber deklarierten Druck erforderlich.

Wenn das Feld Bemerkungen erreicht wird, erscheint in der obersten Zeile folgende Meldung:

Edit-Modus; HILFE: F1 ; Baustein lesen/schreiben: F2/F3

Die Eingabe in das Feld "Bemerkungen" ist nicht in der Länge beschränkt. Das Feld ist dazu vorgesehen, beliebige Notizen oder Anmerkungen zu dieser Messung aufzunehmen. Für die Eingabe steht ein Editor zur Verfügung, dessen Kommandos mit der Funktionstaste F1 (HILFE) angezeigt werden können. Der eingegebene Text kann mit dem Kommando ^W (Ctrl W, d. h., die Tasten CONTROL und W gleichzeitig betätigen) gesichert oder mit ESC verworfen werden.

Ist die Seite vollständig ausgefüllt, so erscheinen in der untersten Zeile wieder die nun möglichen Aktionen:

[E]ditieren, [N]ächste Seite, [V]orige Seite, [S]peichern/Verwerfen

Die Option V arbeitet analog zur Option N, nur daß hierbei die vorhergehende Seite angezeigt wird. Sind beide Seiten vollständig ausgefüllt, so kann Option S (Speichern/Verwerfen) gewählt werden. Nach dem Aufruf dieser Funktion erscheint in der letzten Zeile die Frage:

Datensatz speichern? J/N.

Wird die Frage mit J beantwortet, so wird für die eingegebenen Daten ein neuer Datensatz angelegt und gespeichert. Anschließend erscheint die Frage
 Weiteren Datensatz anlegen? J/N.

Bei Nein erfolgt der Rücksprung ins Hauptmenü. Bei Ja wird eine neue leere Eingabemaske angezeigt und der Vorgang wiederholt.

3.1.2 Deposit-Correction-Methode

Wurde als Meßmethode "DCT" für Deposit-Correction-Methode angegeben, so wird die Eingabemaske wie folgt ergänzt:

Anreicherungs-messung				Seite 1				
Anlage .....	[	]		Band-Nr.	[] Messg 1		
Halle .....	[	]		Seite [A,B]....	[]		
Kaskade,Feed/Prod/Tail...	[	]		Position [1-5].	[]		
Messmethode [2GT,DCT,XRF]	[DCT]			Datei-Name	[.CHN]			
Datum der Messung	[01.01.88]							
Uhrzeit Beginn [HH:MM]...	[:]						
Uhrzeit Ende [HH:MM]....	[:]						
Dauer der Messung [s]....	[0]							
Kollimatorgeometrie [Angaben in mm]								
Breite .[10] Höhe .[50] Dicke .[6]								
Kanäle	Untergrund		Peak		Untergrund		Netto-Peak-Fl	Fehler
	Anfg	Ende	Anfg	Ende	Anfg	Ende		
63 keV	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]
85 keV	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]
93 keV	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]
186 keV	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]

Bitte Daten eingeben ...

Nach den Angaben zur Kollimatorgeometrie werden Daten zum aufgenommenen Spektrum erfragt. Hier sind mindestens die Angaben zu den Nettopeakflächen und entsprechenden Fehler für den 63KeV und 186 KeV Peak einzugeben, da diese Werte für die Berechnung der Anreicherung benötigt werden. Die zweite Seite sieht für die Deposit-Correction-Messung wie folgt aus:

Datensatz Nr. 5

Anreicherungsmessung		Datenblatt 2	
Band-Nr.:	Seite:	Position:	Messmethode: DCT
Druckmessung: Band-Nr.:[]	Seite:[]	Position:[]	Datei-Name:[.CHN]
Druck [mbar] gemessen: [0.00]	berechnet: [0.00] ± [0.00]		
Kalibrierungsgerade Intercept B: [0.000]		Slope m: [0.00000] [1/(s mBar %)]	
Eichkonstante K: [0.00]			
Anreicherung deklariert: [0.00]	berechnet: [0.00] ± [0.00]		
Bemerkungen:			

Bitte Daten eingeben ...

Der Gasdruck in der Messleitung wird durch eine unabhängige Röntgenfluoreszenzmessung bestimmt. Diese Messung ist hier durch Angabe von Bandnummer, -seite und -position zu spezifizieren. Ebenfalls anzugeben ist der gemessene bzw. vom Betreiber angegebene Druck in der Meßleitung. Nach der Eingabe dieser Daten wird vom Programm geprüft, ob die angegebene Druckmessung bereits in der Datenbank erfaßt ist. Wenn ja, werden deren Meßergebnisse (berechneter Druck und Fehler) in den aktuellen Datensatz übernommen und angezeigt.

Der sonstige Ablauf der Dateneingabe ist identisch mit dem bei der Röntgenfluoreszenz-Messung beschriebenen Ablauf.

3.1.3 Zwei-Geometrie-Methode

Wurde als Meßmethode "2GT" für Zwei-Geometrie-Methode angegeben, so wird die Eingabemaske wie folgt ergänzt:

Anreicherungs-messung				Seite 1	
Anlage .....	[	]		Band-Nr.	[] Messg 1
Halle .....	[	]		Seite [A,B]....	[]
Kaskade,Feed/Prod/Tail...	[	]		Position [1-5].	[]
Messmethode [2GT,DCT,XRF]	[2GT]			Datei-Name	[.CHN]
Datum der Messung	[01.01.88]			Band-Nr.	[] Messg 2
Uhrzeit Beginn [HH:MM]...	[ :	]		Seite [A,B]....	[]
Uhrzeit Ende [HH:MM].....	[ :	]		Position [1-5].	[]
Dauer der Messung [s]....	[0]			Datei-Name	[.CHN]
Kollimatorgeometrie [Angaben in mm]					
Breite .	[10]	Höhe .	[50]	Dicke .	[6] Orientierung [P=||,Q=⊥]... []
Kanäle	Untergrund	Peak	Untergrund		
	Anfg Ende	Anfg Ende	Anfg Ende	Netto-Peak-Fl	Fehler
186 keV	[0][0]	[0][0]	[0][0]	[0]	[0]

Bitte Daten eingeben ...

Bei der Zwei-Geometrie-Methode werden jeweils zwei Messungen mit unterschiedlichen Geometrien durchgeführt. Die Daten einer Messung sind nur aussagefähig in Verbindung mit den Daten der korrespondierenden zweiten Messung. Diese korrespondierende zweite Messung ist hier durch die Angabe von Bandnummer, -seite und -position zu spezifizieren. Neben den Angaben zu den Kollimatorabmessungen ist auch die Kollimatororientierung bei der Messung anzugeben. Hierbei ist anzugeben, ob die Messung mit dem Kollimatorschlitz parallel zum Rohr oder senkrecht zum Rohr erfolgte.

Bei den Angaben zum 186 KeV Peak müssen mindestens die Nettopeakfläche und der zugehörige Fehler angegeben werden. Die zweite Seite der Eingabemaske sieht für die Zwei-Geometrie-Messung wie folgt aus:

Datensatz Nr. 5

Anreicherungsmessung		Datenblatt 2	
Band-Nr.:	Seite:	Position:	Messmethode: 2GT
Druckmessung: Band-Nr.:[]	Seite:[]	Position:[]	Datei-Name:[.CHN]
Druck [mbar] gemessen: [0.00]	berechnet: [0.00] ± [0.00]		
Kalibrierungsgerade Intercept B: [0.000]		Slope m: [0.00000] [1/(s mBar %)]	
Kollimatorkonstante Alpha: [0.0000] ± [0.0000]		Beta: [0.0000] ± [0.0000]	
Anreicherung	deklariert: [0.00]	berechnet: [0.00] ± [0.00]	
Bemerkungen:			

Bitte Daten eingeben ...

Sobald die Druckmessung spezifiziert ist, wird, wie bei der DCT-Messung, vom Programm geprüft, ob die Daten dieser Messung bereits erfaßt sind. Wenn ja, werden die Ergebnisse der Messung in den aktuellen Datensatz übernommen. Die Daten zur Kalibrierungsgeraden und den Kollimatorkonstanten müssen jeweils nur für die erste Messung eingegeben werden. Bei der Eingabe der zweiten Messung werden diese Daten aus der ersten Messung vom Programm übernommen (Sobald bei einem neu angelegten Datensatz für 2GT-Messungen die zugehörige zweite Messung spezifiziert wird, wird vom Programm geprüft, ob deren Datensatz bereits erfaßt ist. Wenn ja, werden die Daten für die Kalibrierungsgerade und die Kollimatorkonstanten von diesem Datensatz übernommen).

Weiterhin anzugeben ist die Anreicherung wie sie vom Betreiber deklariert wurde. Der sonstige Ablauf der Dateneingabe ist identisch mit dem bei der Röntgenfluoreszenz-Messung beschriebenen Ablauf.

3.2 Datensätze bearbeiten

Option 2 "Datensätze auswählen zum Anzeigen, Ändern oder Löschen" dient dazu, bestehende Datensätze auszuwählen, um sie

- am Bildschirm anzuzeigen
- zu ändern (editieren und/oder Ergebnisse berechnen bzw. neu berechnen)
- zu löschen.

Wird diese Option aufgerufen, so erscheint folgendes Menü auf dem Bildschirm:

1.2	Datensätze auswählen zum Anzeigen, Ändern oder Löschen Meßdaten GUZ
1	<- Datensatz auswählen durch Datensatz-Nummer
2	<- Datensatz auswählen durch Suchkriterien
3	<- Datensatz auswählen durch freie Kriterien
0	<- Rückkehr ins Hauptmenü
Bitte Auswahl-Nummer eingeben:	
Anzahl Datensätze in der Datei: 14	

Es werden drei Optionen angeboten, mit denen Datensätze für die Bearbeitung ausgewählt werden können.

Mit Option 1 "Datensatz auswählen durch Datensatz-Nummer" können Datensätze anhand ihrer Datensatznummer ausgewählt werden:

Bitte Datensatz-Nummer eingeben (0=Ende): 0

Die Datensatznummer wird am Bildschirm jeweils in der ersten Zeile über den Eingabemasken ausgegeben. Bei der Eingabe einer 0 erfolgt ein Rücksprung ins Auswahlmenü, sonst wird anschließend der Datensatz mit der angegebenen Datensatznummer am Bildschirm angezeigt.

Mit Option 2 "Datensatz auswählen durch Suchkriterien" können Datensätze durch eine Reihe von speziellen Suchkriterien ausgewählt werden. Dabei wird ein Eingabeformular am Bildschirm angezeigt, in dem die Felder, die als Suchkriterien dienen, leer gelassen sind. Die einzelnen Suchkriterien werden durch logisch "UND" miteinander verknüpft.

Anreicherungs-messung	Seite 1
Anlage[]	Band-Nr.[■■■■] Messg 1
Halle[■■■■■■■■■■]	Seite [A,B]....[■]
Kaskade,Feed/Prod/Tail... [■■■]	Position [1-5].[■]
Messmethode [2GT,DCT,XRF] []	Datei-Name[■■■■■■■■■■.■■■]
Datum der Messung[. .]	
Uhrzeit Beginn [HH:MM]... [■■:■■]	
Uhrzeit Ende [HH:MM].... [■■:■■]	
Dauer der Messung [s].... [■■■■]	

Bitte Suchkriterien eingeben ...

Ist eine entsprechende Suchanfrage formuliert, so erscheint in der untersten Zelle folgendes Auswahlmenü:

[E]ditieren der Kriterien, [1] Suche beginnen [0] Suche beenden

Mit E (editieren) können die eingegebenen Suchkriterien geändert werden, mit 0 (Suche beenden) erfolgt ein Rücksprung in das Auswahlmenü und mit 1 wird die Suche gestartet.

Option 3 des Auswahlmenüs "Datensatz auswählen durch freie Kriterien" erlaubt die Formulierung einer Suchanfrage in der Programmiersprache des CLIPPER (DBASE) -Systems und setzt daher die Kenntnis dieser Programmiersprache voraus.

Datensatz auswählen durch freie Kriterien	
ANLAGE = "Almelo"	

FELD LISTE			
ANLAGE	C	10	0 Bezeichnung der Anlage
HALLE	C	10	0 Bezeichnung der Halle
KASKADE	C	2	0 Nummer/Bezeichnung der Kaskade
MMETH	C	3	0 Meßmethode (2GT, DCT, XFR)
MDATUM	D	8	0 Datum der Messung
MBEGINN	C	5	0 Beginn der Messung (Uhrzeit)
MEUDE	C	5	0 Ende der Messung (Uhrzeit)
MDAUER	N	5	0 Dauer der Messung n Sekunden
MLBAND	C	3	0 Band-Nummer für Messung 1
MLSEITE	C	1	0 Band-Seite für Messung 1
MLPOS	C	1	0 Position auf Band, Messung 1
MLDNAME	C	12	0 Name der Datei, Messung 1

[E]ditieren, [H] Felder ^ , [T] Felder , [1] Suche Beginnen, [0] Ende Y

Der Ablauf ist ansonsten identisch mit der Option "Auswahl durch Suchkriterien".

Die Auswahl-Optionen 2 und 3 arbeiten nach dem "Filter"-Prinzip. Die angegebenen Suchkriterien definieren einen Filter für die Datensätze, die in der Datenbank enthalten sind. Der Benutzer kann nur auf die Datensätze zugreifen, die die Suchanfrage erfüllen. Wird kein Datensatz gefunden, so erfolgt eine entsprechende Meldung in der untersten Zelle:

Kein entsprechender Datensatz in der Datei. Beliebige Taste drücken...

Danach erfolgt wieder die Ausgabe des Menüs

[E]ditieren der Kriterien, [1] Suche beginnen [0] Suche beenden

Wird mindestens ein Datensatz gefunden, der den Suchbedingungen genügt, so erscheint folgendes Menü in der untersten Zeile:

[B]earb., [+,-] n/v Datensatz, [N,V] n/v Seite, [R]echnen, [0] Ende

Mit der + und - Taste kann man durch die einzelnen Datensätze blättern. Dabei wird jeweils die erste Seite der Bildschirmmaske angezeigt. Mit N und V kann innerhalb eines Datensatzes durch die verschiedenen Seiten geblättert werden. Mit der Option 0 "Ende" erfolgt ein Rücksprung ins Auswahlmenü. Mit der Option B "Bearbeiten" kann der aktuelle Datensatz bearbeitet werden. Die Bearbeitung kann bestehen aus:

- Ändern der Datensatzeinträge = Editieren
- Löschen des Datensatzes und
- Rückgängigmachen einer Löschung.

Bei Aufruf der Bearbeitungsoption B erscheint folgende Menüzeile:

[E]dit., [L]öschen, [R] Lösch. rück., [N,V] n/v Seite, [S]peichern/Verwerfen

Beim Löschen von Datensätzen werden die gelöschten Sätze nicht unmittelbar gelöscht, sondern zunächst nur als gelöscht markiert. Die physikalische Löschung wird bei der nächsten Reorganisation der Datei vorgenommen (siehe Option 4 im Hauptmenü). Solange diese Reorganisation noch nicht vorgenommen wurde, kann die Löschung eines Datensatzes widerrufen werden. Wenn ein Datensatz als gelöscht markiert ist, wird dies in der ersten Zeile des Bildschirms angezeigt.

Nach der Änderung eines Datensatzes (Option E) muß, um die Ergebnisse der Bearbeitung zu sichern, die Option S "Speichern/Verwerfen" gewählt werden. Wurde der Datensatz verändert, so erfolgt nach dieser Option die explizite Frage, ob der veränderte Datensatz gespeichert werden soll oder nicht.

Mit der Option R "Rechnen" werden für den aktuellen Datensatz die Meßergebnisse berechnet und eingetragen. Da die Ergebnisse jeweils auf der 2. Seite Bildschirmmaske ausgewiesen werden, sollte auch jeweils die 2. Seite angewählt werden, bevor diese Funktion aufgerufen wird.

Bei der XRF Messung wird der aktuelle Gasdruck in der Meßleitung berechnet. Hier ist zunächst die spezifische Zählrate für den 98 KeV Peak (pro Millibar und Megabequerel) aus der Eichmessung anzugeben. Anhand dieser Werte wird dann der aktuelle Druck in der Meßleitung berechnet. Die berechneten Ergebnisse werden in den Datensatz eingetragen.

Anreicherungs-messung	Datenblatt 2
Band-Nr.:4	Seite: B Position: 3 Messmethode: XRF
Druckmessung: Band-Nr.: [] Seite: [] Position: [] Datei-Name: []	
Druck [mbar] gemessen: [2.00] berechnet: [1.35] ± [0.17]	
Kalibrierungsgerade Intercept B: [] Slope m:	
Kalibrierungsgerade Intercept B: [] Slope m: [] [1/(s mBar %)]	
Anreicherung deklariert: [] berechnet: [] ± []	
B	
Bitte Zählrate I98 pro mBar und MBq aus Eichmessung angeben: 0.00563900	
Bitti/I98 aus Eichmessung angeben: 0.0000	
Berechneter Druck [mBar]: 1.35 ± 0.17	
Weiter mit beliebiger Taste...	

Bei der Meßmethode DCT wird aus den im Datensatz enthaltenen Angaben die Anreicherung (Gesamt-Anreicherung, nicht Excess-Anreicherung) berechnet und die Ergebnisse in den Datensatz eingetragen. Hierfür werden keine zusätzlichen Daten benötigt.

Anreicherungs-messung	Datenblatt 2
Band-Nr.:2	Seite: A Position: 2 Messmethode: DCT
Druckmessung: Band-Nr.: [4] Seite: [B] Position: [3] Datei-Name: [] .CHN]	
Druck [mbar] gemessen: [2.00] berechnet: [1.35] ± [0.17]	
Kalibrierungsgerade Intercept B: [0.000] Slope m: [0.01245] [1/(s mBar %)]	
Eichkonstante K: [68.46]	
Anreicherung deklariert: [3.50] berechnet: [-16.67] ± [4.24]	
B	
Die berechnete Anreicherung beträgt: -16.67	
Der berechnete Fehler beträgt: 4.24	
Weiter mit beliebiger Taste...	

Bei der 2GT-Messung müssen die Daten beider Messungen vollständig eingegeben worden sein, bevor die Funktion Rechnen aufgerufen werden kann. Aus den in den beiden Datensätzen gespeicherten Meßdaten wird dann die Anreicherung berechnet und das berechnete Ergebnis in beide Datensätze eingetragen.

Anreicherungs-messung	Datenblatt 2
Band-Nr.:G01	Seite: B
Position: 2	Messmethode: 2GT
Druckmessung: Band-Nr.: [4]	Seite: [B] Position: [3] Datei-Name: [.CHN]
Druck [mbar] gemessen: [2.00]	berechnet: [1.35] ± [0.17]
Kalibrierungsgerade Intercept B: [0.000]	Slope m: [0.00457] [1/(s mBar %)]
Kollimatorkonstante Alpha: [0.5515] ± [0.0055]	Beta: [0.6943] ± [0.0069]
Anreicherung deklariert: [3.95]	berechnet: [17.95] ± [4.42]
<p>B</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Die berechnete Anreicherung beträgt: 17.95 Der berechnete Fehler beträgt: 4.42</p> <p>Weiter mit beliebiger Taste...</p> </div>	

Beachten:

Werden die zugrunde liegenden Daten geändert, so muß eine Neuberechnung durchgeführt werden. Dies erfolgt nicht automatisch, sondern die Berechnungsfunktion muß vom Benutzer für die betroffenen Datensätze erneut aufgerufen werden.

Die Berechnungsfunktion kann beliebig oft aufgerufen werden. Dies erlaubt z. B. auch Sensitivitätsbetrachtungen für einzelne Parameter, indem der Parameter schrittweise variiert und nach jeder Änderung eine Neuberechnung durchgeführt wird.

3.3 Auswertungen

Als Auswertung können verschiedene Formen von Listen ausgegeben werden. Auswertungen können mit Option 3 des Hauptmenüs "Auswertung starten" erstellt werden.

AUSWERTUNG STARTEN

Zurück ins Hauptmenü:.....0
Liste Bandinhalt ausgeben:.....1
Liste Ergebnisse ausgeben:.....2

Bitte Auswahlnummer eingeben:

Vor der Ausgabe erfolgt eine Auswahl der Datensätze analog zu Option 2 des Hauptmenüs:

1.3 Datensätze auswählen für die Ausgabeliste
Meßdaten GUZ

1 <- Alle Datensätze, keine Einschränkung durch Auswahl
2 <- Datensatz auswählen durch Suchkriterien
3 <- Datensatz auswählen durch freie Kriterien

0 <- Rückkehr ins Hauptmenü

Bitte Auswahl-Nummer eingeben:

Anzahl Datensätze in der Datei: 14

Dadurch, daß mit den Optionen 2 und 3 verschiedene Filter definiert werden können, können verschiedenste Untermengen der gesamten Datensätze für eine Listenausgabe festgelegt werden.

Die Liste kann wahlweise am Bildschirm oder auf dem Drucker ausgegeben werden. Zusätzlich kann diese Ausgabe auch zum Zweck der Weiterverarbeitung in eine Protokolldatei geschrieben werden, wenn sie z. B. in einen schriftlichen Bericht aufgenommen werden soll:

Ausgabe auf Bildschirm [B] oder Drucker [D]?: B
Soll eine Protokoll-Datei erstellt werden [J/N]?:

Für die Ausgabe am Bildschirm steht eine Anzeigefunktion zur Verfügung, mit der in der Liste vor- und zurückgeblättert werden kann. Diese Funktion wird nur dann aktiviert, wenn die Ausgabe weder auf dem Drucker noch in einer Protokolldatei erfolgt. Mit der Funktionstaste F1 können Hilfsinformationen zu den für die Anzeigefunktion verfügbaren Kommandos abgerufen werden. Die Anzeigefunktion kann mit ESC beendet werden.

Beispiele für Listenausgaben:

Übersicht über durchgeführte GUZ-Messungen

Datensatz Nummer	Band Nr	Band Seite	Band Pos.	Anlage	Halle	Kaskade	Art der Messung	Datum der Messung	Dauer der Messung
1	2	A	2	Almelo	2	11P	DCT	05.09.86	1800
2	4	B	3	Almelo	2	11P	XRF	10.09.86	1800
3	G01	B	2	Gronau	2	9 P	2GT	15.04.87	58560
4	G03	A	2	Gronau	2	9 P	2GT	21.04.87	59100

Ergebnisse durchgeführter GUZ-Messungen

Anlage	Halle	Kaskade	Art der Messung	Datum der Messung	Dauer der Messung	Druck gemessen	Druck berechnet	Fehlerwert	Anreicherung deklariert	Anreicherung berechnet	Fehlerwert
Almelo	2	11P	DCT	05.09.86	1800	2.00	1.35	0.17	3.50	-16.67	4.24
Almelo	2	11P	XRF	10.09.86	1800	2.00	1.35	0.17	0.00	0.00	0.00
Gronau	2	9 P	2GT	15.04.87	58560	2.00	1.35	0.17	3.95	17.95	4.42
Gronau	2	9 P	2GT	21.04.87	59100	2.00	1.35	0.17	3.95	17.95	4.42

3.4 Datenbankinformationen anzeigen

Mit Option 4 des Hauptmenüs können Informationen zur Datenbank angezeigt werden. Diese Informationen umfassen eine Liste der Datensatzfelder und eine Angabe über die Anzahl der Datensätze. Mit der Option P "Pack" wird eine Reorganisation der Datenbank durchgeführt, d.h. alle zur Löschung markierten Datensätze werden auch physikalisch gelöscht.

Lfd. Nr.	Feld-Name	Typ	Lng	Dez.	Kurzbezeichnung
1	ANLAGE	C	10	0	Bezeichnung der Anlage
2	HALLE	C	10	0	Bezeichnung der Halle
3	KASKADE	C	2	0	Nummer/Bezeichnung der Kaskade
4	MMETH	C	3	0	Meßmethode (2GT, DCT, XFR)
5	MDATUM	D	8	0	Datum der Messung
6	MBEGINN	C	5	0	Beginn der Messung (Uhrzeit)
7	MENDE	C	5	0	Ende der Messung (Uhrzeit)
8	MDAUER	N	5	0	Dauer der Messung in Sekunden
9	M1BAND	C	3	0	Band-Nummer für Messung 1
10	M1SEITE	C	1	0	Band-Seite für Messung 1
11	M1POS	C	1	0	Position auf Band, Messung 1
12	M1NAME	C	12	0	Name der Datei, Messung 1
13	M2BAND	C	3	0	Band-Nummer für Messung 2

Datei enthält 14 Datensätze.	
---------------------------------	--

[M]ehr Felder, [P]ack, [0] Ende

3.5 Entscheidungsprozedur LFUA

Mit dieser Funktion steht eine Entscheidungsprozedur zur Verfügung, mit der eine Aussage über den Anreicherungsgrad im Sinne der Vereinbarungen des Hexapartite-Projektes getroffen werden kann. Der Algorithmus entspricht dem vom Los Alamos National Laboratory vorgeschlagenen Testverfahren (Modified sequential Probability Ratio Test).

Zunächst können die im Kopftell der Maske angezeigten Parameter geändert oder unverändert übernommen werden. Anschließend werden solange Werte für die gemessene Anreicherung angefordert, bis eine Entscheidung eindeutig möglich oder das Abbruchkriterium erfüllt ist.

Entscheidungsprozedur LFUA			
Fehlerwert α [P($\theta_2|\theta_1$)]::[0.0010]		Fehlerwert β [P($\theta_1|\theta_2$)]::[0.050]	
Testschranke θ_1 [LEU, in %]::[10.0]		Testschranke θ_2 [HEU, in %]::[20.0]	
Abbrechen nach [10] Messungen		Testschranke bei Abbruch [15.0]%	
Gemessene Anreicherung [in %]	Messfehler [in %]	Entscheidung	
1. Messung	[3.5]	[12.0]	NO DECISION POSSIBLE
2. Messung	[3.5]	[12.0]	NO DECISION POSSIBLE
3. Messung	[3.5]	[12.0]	NO DECISION POSSIBLE

[0] für Abbruch der Prozedur, mit beliebiger Taste weiter ..

Entscheidungsprozedur LFUA			
Fehlerwert α [P($\theta_2|\theta_1$)]::[0.0010]		Fehlerwert β [P($\theta_1|\theta_2$)]::[0.050]	
Testschranke θ_1 [LEU, in %]::[10.0]		Testschranke θ_2 [HEU, in %]::[20.0]	
Abbrechen nach [10] Messungen		Testschranke bei Abbruch [15.0]%	
Gemessene Anreicherung [in %]	Messfehler [in %]	Entscheidung	
1. Messung	[3.5]	[12.0]	NO DECISION POSSIBLE
2. Messung	[3.5]	[12.0]	NO DECISION POSSIBLE
3. Messung	[3.5]	[12.0]	NO DECISION POSSIBLE
4. Messung	[3.5]	[12.0]	LEU CONFIRMED

Entscheidung erreicht, beliebige Taste drücken...

4. Erläuterung wesentlicher Begriffe und Verfahren

4.1 Datensatz

Alle sachlich und logisch zusammengehörenden Daten, wie z.B. die Angaben zu einer Messung, werden im System auch zusammenhängend gespeichert. Diese Speicherungseinheit wird als Datensatz bezeichnet.

4.2 Datensatzfelder

Die einzelnen Daten eines Datensatzes werden in verschiedenen Feldern (Datensatzfelder) gespeichert. Es werden verschiedene Arten von Datensatzfeldern unterschieden:

- Numerische Felder (Typ N), hier kann eine Zahlenangabe, ggf. mit Dezimalstellen, eingetragen werden
- alpha-numerische Felder (Typ C), hier kann eine aus Buchstaben und/oder Ziffern bestehende Eintragung vorgenommen werden
- Textfelder (Memo-Felder, Typ M), hier kann ein Text beliebiger Länge eingetragen werden
- Datumsfelder (Typ D), hier kann eine Datumsangabe im Format TT.MM.JJ eingetragen werden (T=Tag, M=Monat, J=Jahr)

Die maximale Anzahl der Zeichen, die in ein Feld eingetragen werden können, ist fest vorgegeben. Eine Ausnahme bilden die Memo-Felder, die einen Text beliebiger Länge aufnehmen können.

Lfd. Nr. Feld-Name Typ Lng Dez. Kurzbezeichnung

1	ANLAGE	C	10	0	Bezeichnung der Anlage
2	HALLE	C	10	0	Bezeichnung der Halle
3	KASKADE	C	2	0	Nummer/Bezeichnung der Kaskade
4	MMEIH	C	3	0	Meßmethode (2GT, DCT, XFR)
5	MDATUM	D	8	0	Datum der Messung
6	MBEGINN	C	5	0	Beginn der Messung (Uhrzeit)
7	MEUDE	C	5	0	Ende der Messung (Uhrzeit)
8	MDAUER	N	5	0	Dauer der Messung in Sekunden

4.3 Menü

Der Dialog zwischen Benutzer und Programm wird durch "Menüs" gesteuert. In den Menüs wird dem Benutzer eine Reihe von Aktionen zur Auswahl angeboten. Die Aktionsauswahl erfolgt durch die Eingabe der zugeordneten Auswahlziffer bzw. des Auswahlbuchstabens. Bei Auswahlbuchstaben sind Groß- und Kleinschreibung möglich.

Die Menüs werden in zwei Formen eingesetzt:

- als Menü-Bildschirme und
- als Menü-Zellen.

Bei den Menü-Bildschirmen wird in der linken oberen Ecke eine Menünummer angezeigt und daneben die Kennzeichnung des Menüs. In der Zeile darunter wird links die bearbeitete Datendatei und rechts das aktuelle Datum ausgegeben. Im mittleren Teil des Bildschirms wird eine Auswahl von verschiedenen Aktionen angeboten, unter denen der Benutzer eine auswählen kann. Solche Aktionen sind z. B. :

- Anlegen von neuen Datensätzen
- Anzeigen bestehender Datensätze
- Bearbeiten von Datensätzen (Ändern, Löschen)
- Daten auswerten
- Informationen über Datendatei und Datensätze anzeigen
- Spezielle Funktionen, wie z.B. LFUA Entscheidungsprozedur

Jeder Aktion ist eine Auswahlziffer zugeordnet, mit der die entsprechende Aktion ausgewählt werden kann.

Bei den Menüzeilen ist die Angabe der möglichen Aktionen aus Platzgründen auf eine oder zwei Zeilen komprimiert. Sie werden im unteren Teil des Bildschirms ausgegeben. Die Aktionen werden durch den in eckigen Klammern angegebenen Kennbuchstaben ausgewählt, wobei der Kennbuchstabe in der Regel mit dem ersten Buchstaben der Aktionsbezeichnung übereinstimmt.

4.4 Bildschirmmasken

Die Eingabe der Daten erfolgt analog zu dem Vorgang des Ausfüllens eines Formulars. Das Formular enthält erläuternden Text und freie Felder, in denen die Eintragungen vorgenommen werden sollen.

Ein am Bildschirm dargestelltes Formular wird Bildschirmmaske genannt. Der helle blinkende Strich (Cursor) markiert die aktuelle Schreibposition. Einträge können nur in den dafür vorgesehenen freien Feldern vorgenommen werden. Die Felder, in denen Eingaben vorgenommen werden können, sind jeweils hell oder farbig hervorgehoben.

Ist der Eintrag zu einem Feld abgeschlossen, so kann man mit der Enter-Taste zum nächsten Feld weiterschalten. Zum Weiterschalten, d.h. zum Verändern der aktuellen Schreibposition können ebenfalls die Pfeiltasten benutzt werden. Mit Pfeil nach unten bzw. Pfeil nach oben wird das nächste bzw. das vorhergehende Eingabefeld angesprungen. Mit Pfeil nach links bzw. rechts wird die Schreibposition innerhalb des Eingabefeldes um eine Position nach links bzw. nach rechts verschoben. Mit Taste PGDN kann von einer beliebigen Position aus die Eingabe zur aktuellen Bildschirmseite beendet werden.

4.5 Bildschirmseite

Da die zu erfassenden Daten oft so umfangreich sind, daß sie nicht in einer einzigen Maske erfasst werden können, wird die Eingabe auf mehrere Bildschirmmasken verteilt. Diese Masken werden als Bildschirmseiten bzw. als Seiten bezeichnet. Wenn ein Eingabeformular aus mehreren Bildschirmseiten besteht, so

Ist in der Regel im Menü die Option Nächste/Vorige Seite angezeigt. Mit diesem Kommando kann durch die einzelnen Seiten eines Formulars "geblättert" werden. Mit dem Kommando N wird die nächstfolgende Bildschirmseite und mit dem Kommando V die vorhergehende Bildschirmseite angezeigt.

4.6 Positionieren

Mit dem Kommando + bzw. - kann man zum nächsten bzw. vorherigen Datensatz weiterschalten. Die Kommando + und - erlauben also ein Blättern durch die einzelnen Datensätze. Bestehen diese Datensätze aus mehreren Bildschirmseiten, so kann mit den Kommandos N und V zusätzlich durch die einzelnen Seiten eines Datensatzes geblättert werden.

4.7 Auswahl von Datensätzen

Bei der Auswahl von Datensätzen wird die Menge der verfügbaren Datensätze reduziert auf die Menge der Datensätze, die bestimmten Auswahlkriterien genügen. Dem Benutzer gegenüber stellt sich das System dann so dar, als wären nur Datensätze vorhanden, die den Auswahlkriterien entsprechen.

Es gibt zwei Möglichkeiten, um Auswahlkriterien festzulegen:

- Datensatz auswählen durch Suchkriterien
- Datensatz auswählen durch freie Kriterien

Bei der Auswahl durch Suchkriterien wird eine Bildschirmmaske angezeigt, in der die für die Auswahl verwendbaren Suchkriterien freigelassen sind. Hier können die Werte eingetragen werden, die die auszuwählenden Datensätze aufweisen sollen. Wird z. B. im Feld:

Anlage[]

der Wert

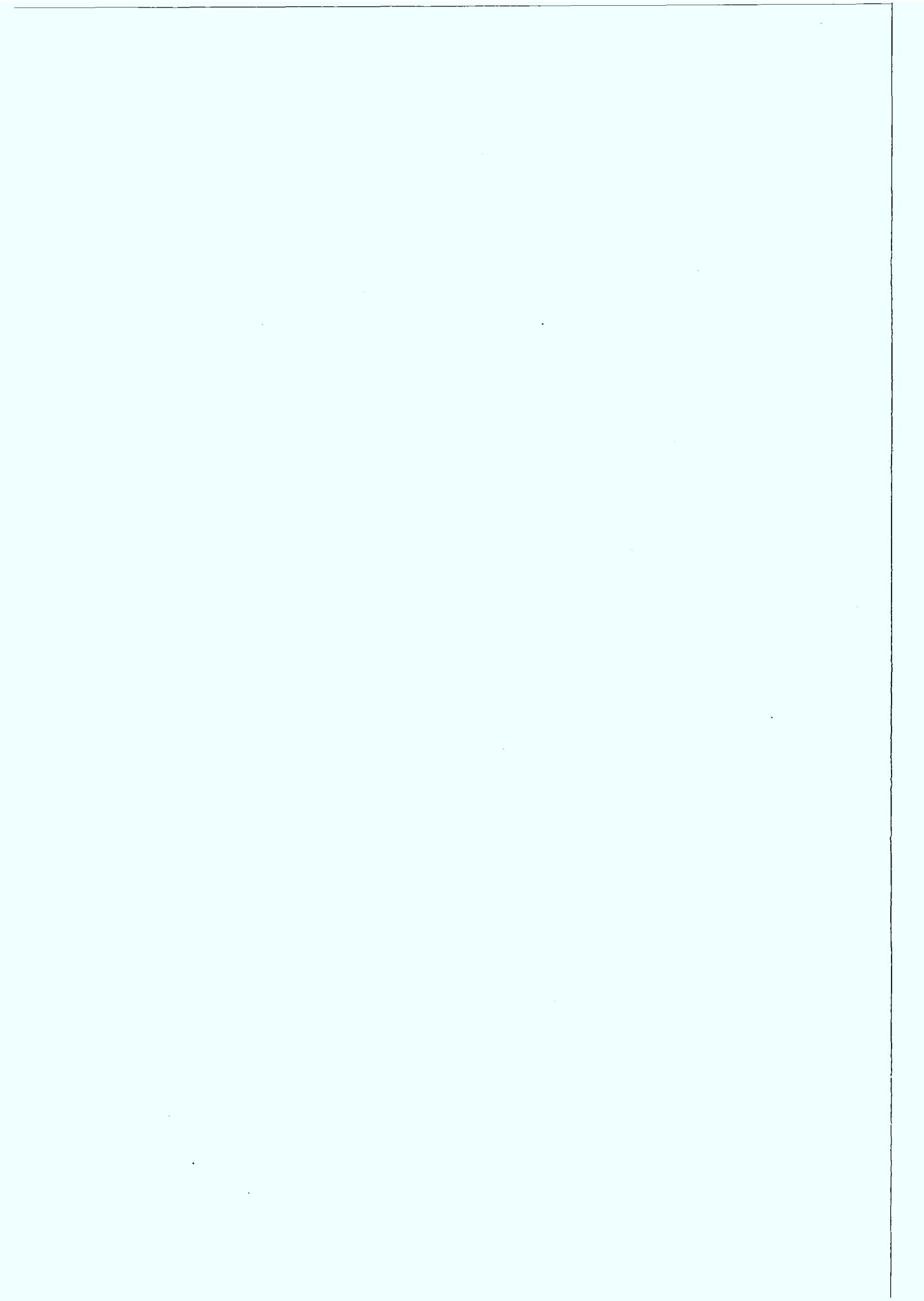
Anlage[Almelo]

eingetragen, so werden alle Datensätze ausgewählt, die in dem entsprechenden Datensatzfeld den Eintrag "Almelo" enthalten. Es können mehrere Suchkriterien angegeben werden. Dabei werden die einzelnen Kriterien untereinander mit logisch "UND" verknüpft. Bei der Verknüpfung werden nur die Kriterien berücksichtigt, zu denen Eintragungen in der Maske vorgenommen wurden.

Wenn die Suche gestartet wird, wird zunächst der erste Datensatz angezeigt, der diese Kriterien erfüllt. Mit dem "+"-Kommando kann dann zum nächsten Datensatz weitergeblättert werden, der auch den Auswahlkriterien genügt. Ein Zurückblättern ist mit dem "-"-Kommando möglich.

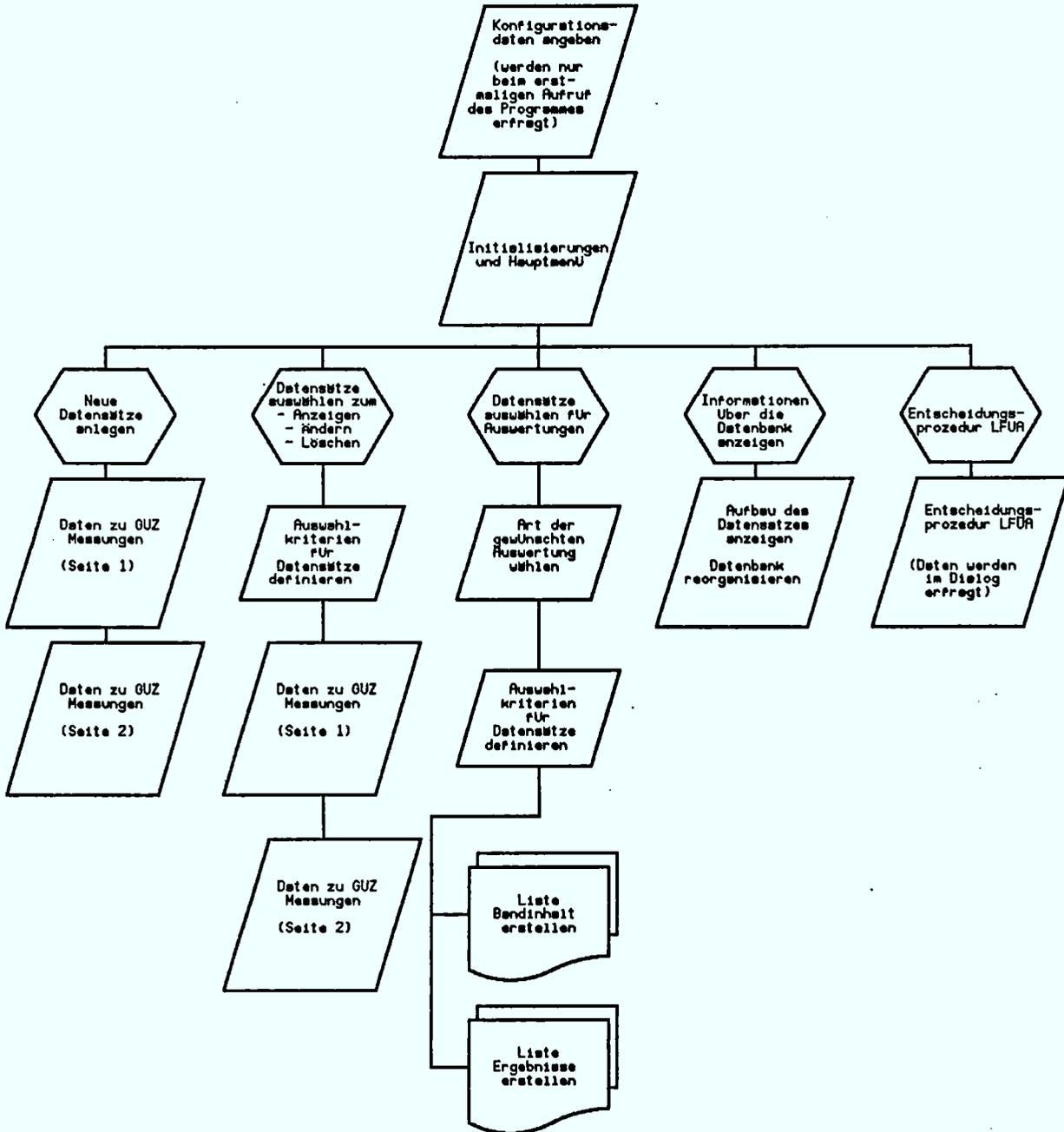
Anhang

	Seite
I. Menü- und Funktionsstruktur; Verarbeitungsschema	1
I. Liste der Datensatzfelder	3
III. Beschreibung der Datensatzfelder	5



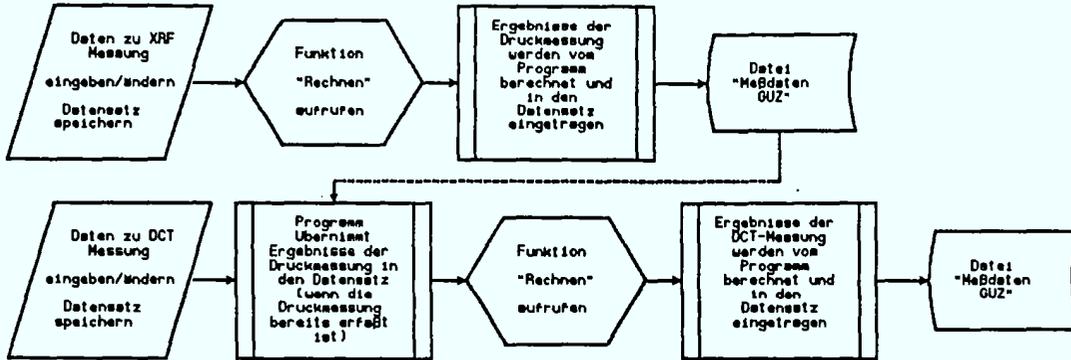
I. Menü- und Funktionsstruktur; Verarbeitungsschema

Maßdaten GUZ, Menü- und Funktionsstruktur

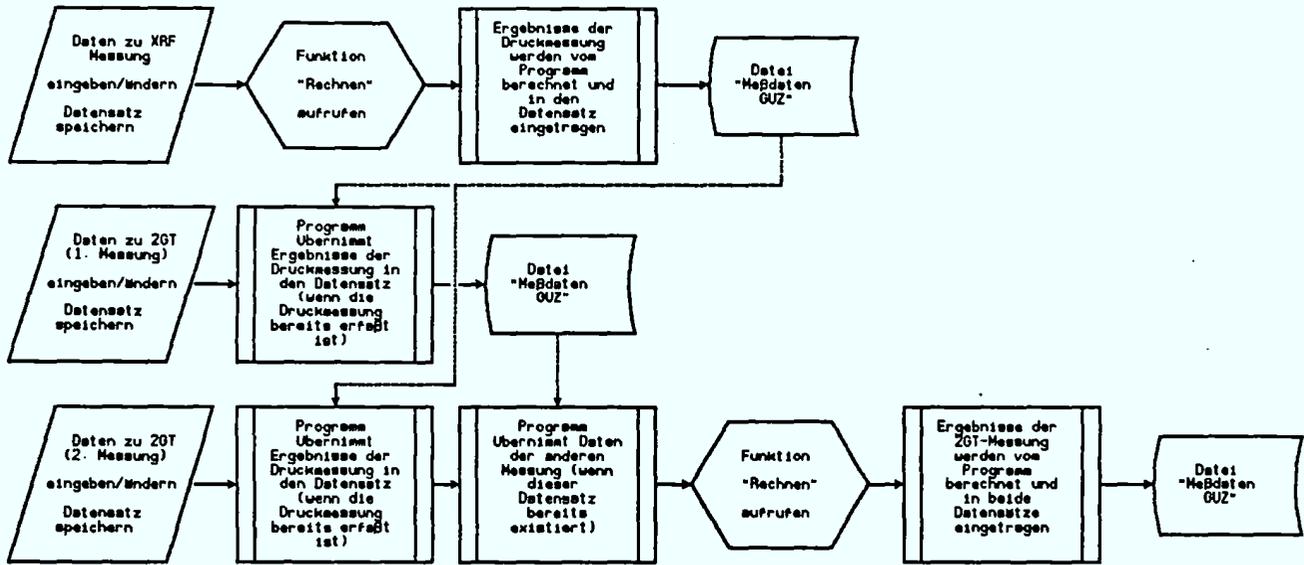


Verarbeitungsschema für die GUZ-Meßdaten

Verarbeitungsschema für DCT-Messungen



Verarbeitungsschema für ZGT-Messungen



II. Liste der Datensatzfelder

Liste der Datensatzfelder für Meßdaten. GUZ

ANLAGE	C	10	0	Bezeichnung der Anlage
HALLE	C	10	0	Bezeichnung der Halle
KASKADE	C	3	0	Nummer/Bezeichnung der Kaskade
MMETH	C	3	0	Meßmethode (2GT, DCT, XFR)
MDATUM	D	8	0	Datum der Messung
MBEGINN	C	5	0	Beginn der Messung (Uhrzeit)
MEENDE	C	5	0	Ende der Messung (Uhrzeit)
MDAUER	N	5	0	Dauer der Messung in Sekunden
M1BAND	C	3	0	Band-Nummer für Messung 1
M1SEITE	C	1	0	Band-Seite für Messung 1
M1POS	C	1	0	Position auf Band, Messung 1
M1DNAME	C	12	0	Name der Datei, Messung 1
M2BAND	C	3	0	Band-Nummer für Messung 2
M2SEITE	C	1	0	Band-Seite für Messung 2
M2POS	C	1	0	Position auf Band, Messung 2
M2DNAME	C	12	0	Name der Datei, Messung 2
KBREITE	N	2	0	Breite des Kollimators (mm)
KHOEHE	N	2	0	Höhe des Kollimatorschlitzes (mm)
KDICKE	N	2	0	Dicke des Kollimators (mm)
KORINTG	C	1	0	Orientierung des Kollimators (P,Q)
QUELLE	C	5	0	Bezeichnung der XRF-Quelle
QSTAERKE	N	7	2	Strahlungsstärke der XRF-Quelle (MBq)
QMDATUM	D	8	0	Meßdatum für Angaben zur XRF-Quelle
QSTAKT	N	7	2	aktuelle Strahlungsstärke der XRF-Quelle
P186U1A	N	4	0	Untergrund 1 Anfang, Peak 186 KeV
P186U1E	N	4	0	Untergrund 1 Ende, Peak 186 KeV
P186PA	N	4	0	Peak 186 KeV, Anfang
P186PE	N	4	0	Peak 186 KeV, Ende
P186U2A	N	4	0	Untergrund 2 Anfang, Peak 186 KeV
P186U2E	N	4	0	Untergrund 2 Ende, Peak 186 KeV
P186NPFL	N	5	0	Netto-Peakfläche 186 KeV
P186NPERR	N	3	0	Fehler Netto-Peakfläche 186 KeV
P63U1A	N	4	0	Untergrund 1 Anfang, Peak 63 KeV
P63U1E	N	4	0	Untergrund 1 Ende, Peak 63 KeV
P63PA	N	4	0	Peak 63 KeV, Anfang
P63PE	N	4	0	Peak 63 KeV, Ende
P63U2A	N	4	0	Untergrund 2 Anfang, Peak 63 KeV
P63U2E	N	4	0	Untergrund 2 Ende, Peak 63 KeV
P63NPFL	N	5	0	Netto-Peakfläche 63 KeV
P63NPERR	N	3	0	Fehler Netto-Peakfläche 63 KeV
P98U1A	N	4	0	Untergrund 1 Anfang, Peak 98 KeV
P98U1E	N	4	0	Untergrund 1 Ende, Peak 98 KeV
P98PA	N	4	0	Peak 98 KeV, Anfang
P98PE	N	4	0	Peak 98 KeV, Ende
P98U2A	N	4	0	Untergrund 2 Anfang, Peak 98 KeV
P98U2E	N	4	0	Untergrund 2 Ende, Peak 98 KeV
P98NPFL	N	5	0	Netto-Peakfläche 98 KeV
P98NPERR	N	3	0	Fehler Netto-Peakfläche 98 KeV
P85U1A	N	4	0	Untergrund 1 Anfang, Peak 84,7 KeV
P85U1E	N	4	0	Untergrund 1 Ende, Peak 84,7 KeV
P85PA	N	4	0	Peak 84,7 KeV, Anfang
P85PE	N	4	0	Peak 84,7 KeV, Ende
P85U2A	N	4	0	Untergrund 2 Anfang, Peak 84,7 KeV

P85U2E	N	4	0	Untergrund 2 Ende, Peak 84,7 KeV
P85NPFL	N	5	0	Netto-Peakfläche 84,7 KeV
P85NPERR	N	3	0	Fehler Netto-Peakfläche 84,7 KeV
P93U1A	N	4	0	Untergrund 1 Anfang, Peak 93 KeV
P93U1E	N	4	0	Untergrund 1 Ende, Peak 93 KeV
P93PA	N	4	0	Peak 93 KeV, Anfang
P93PE	N	4	0	Peak 93 KeV, Ende
P93U2A	N	4	0	Untergrund 2 Anfang, Peak 93 KeV
P93U2E	N	4	0	Untergrund 2 Ende, Peak 93 KeV
P93NPFL	N	5	0	Netto-Peakfläche 93 KeV
P93NPERR	N	3	0	Fehler Netto-Peakfläche 93 KeV
DRUCKAKT	N	6	2	Gasdruck, tatsächlicher Wert
DRUCKBER	N	6	2	Gasdruck, berechneter Wert
DRUCKERR	N	5	2	Fehler für den berechneten Gasdruck
MDBAND	C	3	0	Band-Nummer der zugeord. Druckmessung
MDSEITE	C	1	0	Band-Seite der zugeordneten Druckmessung
MDPOS	C	1	0	Position auf Band, zugeord. Druckmessung
MDDNAME	C	12	0	Name der Datei, zugeord. Druckmessung
INTERCEPT	N	5	3	Kalibrierung, Versatz
SLOPE	N	7	5	Kalibrierung, Steigung
EICKONST	N	6	2	Eichkonstante K (für DCT Messung)
ALPHA	N	6	4	Kollimatorkonstante alpha
ALPHAERR	N	6	4	Fehlerwert für Kollimatorkonst. alpha
BETA	N	6	4	Kollimatorkonstante beta
BETAERR	N	6	4	Fehlerwert für Kollimatorkonst. beta
ANRAKT	N	6	2	Anreicherung, tatsächlicher Wert
ANRBER	N	6	2	Anreicherung, berechneter Wert
ANRERR	N	6	2	Fehler für die berechnete Anreicherung
BEMERKG	M	10	0	Bemerkungen im Klartext

III. Beschreibung der Datensatzfelder

Feld-Name: ANLAGE Feld-Typ: C Feld-Länge: 10 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Bezeichnung der Anlage

Bedeutung:

Bezeichnung der Anlage, in der die Messung durchgeführt wurde.

Wertebereich, zulässige Code:

Klartexteintrag

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Feld-Name: HALLE Feld-Typ: C Feld-Länge: 10 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Bezeichnung der Halle

Bedeutung:

Bezeichnung der Halle, in der die Messung durchgeführt wurde.

Wertebereich, zulässige Code:

Klartexteintrag

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Feld-Name: KASKADE Feld-Typ: C Feld-Länge: 3 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Nummer/Bezeichnung der Kaskade

Bedeutung:

Bezeichnung der Kaskade, an der die Messung durchgeführt wurde.

Wertebereich, zulässige Code:

Klartexteintrag

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Feld-Name: MMETH Feld-Typ: C Feld-Länge: 3 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Meßmethode (2GT, DCT, XFR)

Bedeutung:
Meßmethode

Wertebereich, zulässige Code:
2GT für 2 Geometrie Methode
DCT für Deposit Correction Technique
XFR für Röntgen-Fluoreszenz-Messung

Herkunft, Verbleib der Daten:
Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):
Prüfung auf zulässige Code

Feld-Name: MDATE Feld-Typ: D Feld-Länge: 8 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Datum der Messung

Bedeutung:
Datum, an dem die Messung durchgeführt wurde.

Wertebereich, zulässige Code:
Datum im Format TT.MM.JJ
Datum im Bereich 01.01.80 bis 31.12.99

Herkunft, Verbleib der Daten:
Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):
Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Feld-Name: MBEGINN Feld-Typ: C Feld-Länge: 5 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Beginn der Messung (Uhrzeit)

Bedeutung:

Uhrzeit, zu der die Messung begonnen wurde

Wertebereich, zulässige Code:

Uhrzeit im Format HH:MM

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

nur Ziffern-Eingabe erlaubt

Feld-Name: MENDE Feld-Typ: C Feld-Länge: 5 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Ende der Messung (Uhrzeit)

Bedeutung:

Uhrzeit, zu der die Messung beendet wurde

Wertebereich, zulässige Code:

Uhrzeit im Format HH:MM

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

nur Ziffern-Eingabe erlaubt

Feld-Name: MDAUER Feld-Typ: N Feld-Länge: 5 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Dauer der Messung in Sekunden

Bedeutung:

Dauer der Messung in Sekunden

Wertebereich, zulässige Code:

5-stellige Integerzahl

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

nur Ziffern-Eingabe erlaubt

Bemerkungen:

Wegen der notwendigen Totzeit-Korrektur kann die eigentliche Meßdauer nicht aus den Uhrzeiten berechnet werden. Sie muß daher vom Benutzer angegeben werden.

Feld-Name: M1BAND Feld-Typ: C Feld-Länge: 3 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Band-Nummer für Messung 1

Bedeutung:

Bezeichnung des Bandes, auf dem die Meßdaten im Vielkanal gespeichert wurden. (Messung 1)

Wertebereich, zulässige Code:

Klartexteintrag

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Bemerkungen:

Bei der 2-Geometrie-Methode sind 2 Messungen erforderlich, um die Anreicherung zu bestimmen. Die Angaben zu Messung 2 dienen zur Identifizierung der entsprechenden 2. Messung. Angaben zu Messung 2 werden nur bei Meßmethode 2GT erfragt.

Feld-Name: MISEITE Feld-Typ: C Feld-Länge: 1 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Band-Seite für Messung 1

Bedeutung:

Bezeichnung der Band-Seite, auf der die Meßdaten im Vielkanal gespeichert wurden (Messung 1).

Wertebereich, zulässige Code:

A für Seite A
B für Seite B

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Feld-Name: M1POS Feld-Typ: C Feld-Länge: 1 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Position auf Band, Messung 1

Bedeutung:

Position auf dem Band, an der die Meßdaten im Vielkanal gespeichert wurden (Messung 1).

Wertebereich, zulässige Code:

Ziffer zwischen 1 und 5 entsprechend der Bandposition.

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

nur Ziffern-Eingabe erlaubt

Feld-Name: MIDNAME **Feld-Typ:** C **Feld-Länge:** 12 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Name der Datei, Messung 1

Bedeutung:

Name der Datei, in der die Meßdaten auf Diskette/Platte gespeichert sind (Messung 1).

Wertebereich, zulässige Code:

Dateibezeichnung entsprechend MS-DOS Konvention. Die Dateikennung sollte CHN lauten.

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Feld-Name: M2BAND **Feld-Typ:** C **Feld-Länge:** 3 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Band-Nummer für Messung 2

Bedeutung:

Bezeichnung des Bandes, auf dem die Meßdaten im Vielkanal gespeichert wurden (Messung 2).

Wertebereich, zulässige Code:

Klartexteintrag

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Bemerkungen:

Bei der 2-Geometrie-Methode sind 2 Messungen erforderlich, um die Anreicherung zu bestimmen. Die Angaben zu Messung 2 dienen zur Identifizierung der entsprechenden 2. Messung.

Angaben zu Messung 2 werden nur bei Meßmethode 2GT erfragt.

Feld-Name: M2SEITE Feld-Typ: C Feld-Länge: 1 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Band-Seite für Messung 2

Bedeutung:

Bezeichnung der Bandseite, auf der die Meßdaten im Vielkanal gespeichert wurden (Messung 2).

Wertebereich, zulässige Code:

A für Seite A
B für Seite B

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Bemerkungen:

Angabe wird nur bei Messmethode 2GT erfragt

Feld-Name: M2POS Feld-Typ: C Feld-Länge: 1 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Position auf Band, Messung 2

Bedeutung:

Position auf dem Band, an der die Meßdaten im Vielkanal gespeichert wurden (Messung 2).

Wertebereich, zulässige Code:

Ziffer zwischen 1 und 5 entsprechend der Bandposition oder leer.

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

nur Ziffern-Eingabe erlaubt

Bemerkungen:

Angabe wird nur bei Messmethode 2GT erfragt

Feld-Name: M2DNAME **Feld-Typ:** C **Feld-Länge:** 12 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Name der Datei, Messung 2

Bedeutung:

Name der Datei, in der die Meßdaten auf Diskette/Platte gespeichert sind (Messung 2).

Wertebereich, zulässige Code:

Dateibezeichnung entsprechend MS-DOS Konvention. Die Dateikennung sollte CHN lauten.

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Bemerkungen:

Angabe wird nur bei Messmethode 2GT erfragt

Feld-Name: KBREITE **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 2 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Breite des Kollimators (mm)

Bedeutung:

Breite des Kollimatorschlitzes, der bei der Messung eingesetzt wurde.

Wertebereich, zulässige Code:

2-stellige Integerzahl zwischen 0 und 99.

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

positive Integerzahl zwischen 0 und 99 (RANGE).

Bemerkungen:

Der Wert ist, je nach Meßmethode, unterschiedlich vorbesetzt.

Feld-Name: KHOEHE **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 2 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Höhe des Kollimatorschlitzes (mm)

Bedeutung:

Höhe des Kollimatorschlitzes, der bei der Messung eingesetzt wurde.

Wertebereich, zulässige Code:

2-stellige Integerzahl zwischen 0 und 99.

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

positive Integerzahl zwischen 0 und 99 (RANGE)

Bemerkungen:

Der Wert ist, je nach Meßmethode, unterschiedlich vorbesetzt.

Feld-Name: KDICKE **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 2 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Dicke des Kollimators (mm)

Bedeutung:

Dicke des Kollimators, der bei der Messung eingesetzt wurde.

Wertebereich, zulässige Code:

2-stellige Integerzahl zwischen 0 und 99.

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

positive Integerzahl zwischen 0 und 99 (RANGE)

Bemerkungen:

Der Wert ist, je nach Meßmethode, unterschiedlich vorbesetzt.

Feld-Name: KORINTG **Feld-Typ:** C **Feld-Länge:** 1 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Orientierung des Kollimators (P,Q)

Bedeutung:

Orientierung des Kollimatorschlitzes im Verhältnis zur Meßleitung

Wertebereich, zulässige Code:

P wenn parallel zur Meßleitung
Q wenn quer zur Meßleitung
oder leer

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Bemerkungen:

Nur für Meßmethode 2GT relevant. Wird nur bei Meßmethode 2GT erfragt.

Feld-Name: QUELLE **Feld-Typ:** C **Feld-Länge:** 5 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Bezeichnung der XRF-Quelle

Bedeutung:

Bezeichnung der Strahlungsquelle für Röntgenfluoreszenzmessungen

Wertebereich, zulässige Code:

Klartexteintrag

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Bemerkungen:

Angabe wird nur bei Messmethode XRF erfragt. Wert ist mit C0-57 vorbesetzt.

Feld-Name: QSTAERKE **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 7 **Dezimale:** 2

Kurzbezeichnung: Strahlungsstärke der XRF-Quelle (MBq)

Bedeutung:

angegebene Stärke der Strahlungsquelle im MBq für
Röntgenfluoreszenzmessungen (zum angegebenen Meßdatum)

Wertebereich, zulässige Code:

positive Zahl zwischen 0 und 9999.99

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

positive Zahl zwischen 0 und 9999.99 (RANGE)

Bemerkungen:

Angabe wird nur bei Messmethode XRF erfragt.

Feld-Name: QMDATUM **Feld-Typ:** D **Feld-Länge:** 8 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Meßdatum für Angaben zur XRF-Quelle

Bedeutung:

Datum, an dem die Stärke der Strahlungsquelle bestimmt wurde.

Wertebereich, zulässige Code:

Datum im Format TT.MM.JJ

Datum im Bereich vom 01.01.80 bis 31.12.99

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Angabe wird nur bei Messmethode XRF erfragt.

Feld-Name: QSTAKT **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 7 **Dezimale:** 2

Kurzbezeichnung: aktuelle Strahlungsstärke der XRF-Quelle

Bedeutung:

aktuelle Stärke der XRF-Strahlungsquelle am Tag der Messung

Wertebereich, zulässige Code:

Zahl zwischen 0 und 9999.99

Herkunft, Verbleib der Daten:

Die Angabe wird nach dem Zerfallsgesetz
berechnet. ($\lambda_{CO-57} = 0,00255/d$)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Bemerkungen:

Zerfallskonstante muß in Abhängigkeit der Strahlungsquelle
gewählt werden.

Feld-Name: P186U1A **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 4 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 1 Anfang, Peak 186 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 186 KeV Peak,
Anfangspunkt des Untergrundes vor dem Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode 2GT und DCT erfragt.

Feld-Name: P186U1E **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 4 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 1 Ende, Peak 186 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 186 KeV Peak,
Endpunkt des Untergrundes vor dem Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode 2GT und DCT erfragt.

Feld-Name: P186PA **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 4 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Peak 186 KeV, Anfang

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung der Peakfläche für 186 KeV Peak,
Anfangspunkt der Peakfläche

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode 2GT und DCT erfragt.

Feld-Name: P186PE Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Peak 186 KeV, Ende .

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung der Peakfläche für 186 KeV Peak,
Enpunkt der Peakfläche

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode 2GT und DCT erfragt.

Feld-Name: P186U2A Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 2 Anfang, Peak 186 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 186 KeV Peak,
Anfangspunkt des Untergrundes hinter dem Peak.

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode 2GT und DCT erfragt.

Feld-Name: P186U2E Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 2 Ende, Peak 186 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 186 KeV Peak,
Endpunkt des Untergrundes hinter dem Peak.

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode 2GT und DCT erfragt.

Feld-Name: P186NPFL Feld-Typ: N Feld-Länge: 5 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Netto-Peakfläche 186 KeV

Bedeutung:

Netto-Peakfläche für 186 KeV Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode 2GT und DCT erfragt.

Feld-Name: P186NPERR Feld-Typ: N Feld-Länge: 3 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Fehler Netto-Peakfläche 186 KeV

Bedeutung:

Fehler bei der Bestimmung der Netto-Peakfläche für 186 KeV Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode 2GT und DCT erfragt.

Feld-Name: P63U1A Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 1 Anfang, Peak 63 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes 63 KeV Peak,
Anfangspunkt des Untergrundes vor dem Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt

Feld-Name: P63U1E Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 1 Ende, Peak 63 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 63 KeV Peak,
Endpunkt des Untergrundes vor dem Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt

Feld-Name: P63PA Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Peak 63 KeV, Anfang

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung der Peakfläche für 63 KeV Peak,
Anfangspunkt der Peakfläche

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt

Feld-Name: P63PE **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 4 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Peak 63 KeV, Ende

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung der Peakfläche für 63 KeV Peak,
Endpunkt der Peakfläche

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt

Feld-Name: P63U2A **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 4 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 2 Anfang, Peak 63 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 63 KeV Peak,
Anfangspunkt des Untergrundes hinter dem Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt

Feld-Name: P63U2E Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 2 Ende, Peak 63 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 63 KeV Peak,
Endpunkt des Untergrundes hinter dem Peak.

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt

Feld-Name: P63NPFL Feld-Typ: N Feld-Länge: 5 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Netto-Peakfläche 63 KeV

Bedeutung:

Netto-Peakfläche für 63 KeV Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt

Feld-Name: P63NPERR **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 3 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Fehler Netto-Peakfläche 63 KeV

Bedeutung:

Fehler bei der Bestimmung der Netto-Peakfläche für 63 KeV Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt

Feld-Name: P98U1A **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 4 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 1 Anfang, Peak 98 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 98 KeV Peak,
Anfangspunkt des Untergrundes vor dem Peak.

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode XRF erfragt

Feld-Name: P98U1E **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 4 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 1 Ende, Peak 98 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 98 KeV Peak,
Endpunkt des Untergrundes vor dem Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode XRF erfragt

Feld-Name: P98PA **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 4 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Peak 98 KeV, Anfang

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung der Peakfläche für 98 KeV Peak,
Anfangspunkt der Peakfläche.

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode XRF erfragt

Feld-Name: P98PE **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 4 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Peak 98 KeV, Ende

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung der Peakfläche für 98 KeV Peak,
Endpunkt der Peakfläche.

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode XRF erfragt

Feld-Name: P98U2A **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 4 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 2 Anfang, Peak 98 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 98 KeV Peak,
Anfangspunkt des Untergrundes hinter dem Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode XRF erfragt

Feld-Name: P98U2E Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 2 Ende, Peak 98 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 98 KeV Peak,
Endpunkt des Untergrundes hinter dem Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode XRF erfragt

Feld-Name: P98NPFL Feld-Typ: N Feld-Länge: 5 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Netto-Peakfläche 98 KeV

Bedeutung:

Netto-Peakfläche für 98 KeV Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode XRF erfragt

Feld-Name: P98NPERR **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 3 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Fehler Netto-Peakfläche 98 KeV

Bedeutung:

Fehler bei der Bestimmung der Netto-Peakfläche für 98 KeV Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode XRF erfragt

Feld-Name: P85U1A **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 4 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 1 Anfang, Peak 84,7 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 85 KeV Peak,
Anfangspunkt des Untergrundes vor dem Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P85U1E **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 4 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 1 Ende, Peak 84,7 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 85 KeV Peak,
Endpunkt des Untergrundes vor dem Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P85PA **Feld-Typ:** N **Feld-Länge:** 4 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Peak 84,7 KeV, Anfang

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung der Peakfläche für 85 KeV Peak,
Anfangspunkt der Peakfläche

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P85PE Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Peak 84,7 KeV, Ende.

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung der Peakfläche für 85 KeV Peak,
Enpunkt der Peakfläche

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P85U2A Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 2 Anfang, Peak 84,7 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 85 KeV Peak,
Anfangspunkt des Untergrundes hinter dem Peak.

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P85U2E Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 2 Ende, Peak 84,7 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 85 KeV Peak,
Endpunkt des Untergrundes hinter dem Peak.

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P85NPFL Feld-Typ: N Feld-Länge: 5 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Netto-Peakfläche 84,7 KeV

Bedeutung:

Netto-Peakfläche für 85 KeV Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P85NPERR Feld-Typ: N Feld-Länge: 3 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Fehler Netto-Peakfläche 84,7 KeV

Bedeutung:

Fehler bei der Bestimmung der Netto-Peakfläche für 85 KeV Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P93U1A Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 1 Anfang, Peak 93 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 93 KeV Peak,
Anfangspunkt des Untergrundes vor dem Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P93U1E Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 1 Ende, Peak 93 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 93 KeV Peak,
Endpunkt des Untergrundes vor dem Peak.

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P93PA Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Peak 93 KeV, Anfang

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung der Peakfläche für 93 KeV Peak,
Anfangspunkt der Peakfläche

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P93PE Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Peak 93 KeV, Ende

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung der Peakfläche für 93 KeV Peak,
Endpunkt der Peakfläche.

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P93U2A Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 2 Anfang, Peak 93 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 93 KeV Peak,
Anfangspunkt des Untergrundes hinter dem Peak.

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P93U2E Feld-Typ: N Feld-Länge: 4 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Untergrund 2 Ende, Peak 93 KeV

Bedeutung:

Kanalnummer für die Bestimmung des Untergrundes für 93 KeV Peak,
Endpunkt des Untergrundes hinter dem Peak.

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P93NPFL Feld-Typ: N Feld-Länge: 5 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Netto-Peakfläche 93 KeV

Bedeutung:

Netto-Peakfläche für 93 KeV Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: P93NPERR Feld-Typ: N Feld-Länge: 3 Dezimale: 0

Kurzbezeichnung: Fehler Netto-Peakfläche 93 KeV

Bedeutung:

Fehler bei der Bestimmung der Netto-Peakfläche für 93 KeV Peak

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 4096

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe (Ablesung vom Vielkanal)

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: DRUCKAKT Feld-Typ: N Feld-Länge: 6 Dezimale: 2

Kurzbezeichnung: Gasdruck, tatsächlicher Wert

Bedeutung:

Gasdruck in der Meßleitung in Torr, tatsächlicher Wert

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 100

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Bemerkungen:

Wert wird nur während der Testphase zu Kontrollzwecken erfaßt.

Feld-Name: DRUCKBER Feld-Typ: N Feld-Länge: 6 Dezimale: 2

Kurzbezeichnung: Gasdruck, berechneter Wert

Bedeutung:

Gasdruck in der Meßleitung in Torr, berechneter Wert

Wertebereich, zulässige Code:

Integerzahl zwischen 0 und 100

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Feld-Name: DRUCKERR Feld-Typ: N Feld-Länge: 5 Dezimale: 2

Kurzbezeichnung: Fehler für den berechneten Gasdruck

Bedeutung:

Fehler für den berechneten Gasdruck

Wertebereich, zulässige Code:

Zahl zwischen 0 und 100

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Prüfung auf zulässigen Bereich (RANGE)

Feld-Name: MDBAND **Feld-Typ:** C **Feld-Länge:** 3 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Band-Nummer der zugeord. Druckmessung

Bedeutung:

Bezeichnung des Bandes, auf dem die Meßdaten der zugehörigen Druckmessung im Vielkanal gespeichert wurden.

Wertebereich, zulässige Code:

Klartexteintrag

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode 2GT und DCT erfragt.

Feld-Name: MDSEITE **Feld-Typ:** C **Feld-Länge:** 1 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Band-Seite der zugeordneten Druckmessung

Bedeutung:

Bezeichnung der Bandseite, auf der die Meßdaten der zugehörigen Druckmessung im Vielkanal gespeichert wurden.

Wertebereich, zulässige Code:

A für Seite A
B für Seite B

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode 2GT und DCT erfragt.

Feld-Name: MDPOS **Feld-Typ:** C **Feld-Länge:** 1 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Position auf Band, zugeord. Druckmessung

Bedeutung:

Position auf dem Band, an der die Meßdaten der zugehörigen Druckmessung im Vielkanal gespeichert wurden.

Wertebereich, zulässige Code:

Ziffer zwischen 1 und 5 entsprechend der Bandposition oder leer.

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

nur Zifferneingabe erlaubt

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode 2GT und DCT erfragt.

Feld-Name: MDDNAME **Feld-Typ:** C **Feld-Länge:** 12 **Dezimale:** 0

Kurzbezeichnung: Name der Datei, zugeord. Druckmessung

Bedeutung:

Name der Datei, in der die Meßdaten der zugehörigen Druckmessung auf Diskette/Platte gespeichert sind.

Wertebereich, zulässige Code:

Dateibezeichnung entsprechend MS-DOS Konvention. Die Dateikennung sollte CHN lauten.

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

keine

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode 2GT und DCT erfragt.

Feld-Name: INTERCEPT Feld-Typ: N Feld-Länge: 5 Dezimale: 3

Kurzbezeichnung: Kalibrierung, Versatz

Bedeutung:

Versatz der Kalibrierungsgerade

Wertebereich, zulässige Code:

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Feld-Name: SLOPE Feld-Typ: N Feld-Länge: 7 Dezimale: 5

Kurzbezeichnung: Kalibrierung, Steigung

Bedeutung:

Steigung der Kalibrierungsgeraden

Wertebereich, zulässige Code:

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Feld-Name: EICHKONST Feld-Typ: N Feld-Länge: 6 Dezimale: 2

Kurzbezeichnung: Eichkonstante K (für DCT Messung)

Bedeutung:

Eichkonstante K

Wertebereich, zulässige Code:

Numerischer Wert mit 2 Dezimalen

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Nur Zifferneingabe erlaubt

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode DCT erfragt.

Feld-Name: ALPHA Feld-Typ: N Feld-Länge: 6 Dezimale: 4

Kurzbezeichnung: Kollimatorkonstante alpha

Bedeutung:
Kollimatorkonstante Alpha

Wertebereich, zulässige Code:

Herkunft, Verbleib der Daten:
Terminaleingabe

Feld-Name: ALPHAERR Feld-Typ: N Feld-Länge: 6 Dezimale: 4

Kurzbezeichnung: Fehlerwert für Kollimatorkonst. alpha

Bedeutung:
Fehlerwert für die Bestimmung der Kollimatorkonstante Alpha.

Wertebereich, zulässige Code:
Numerischer Wert mit 4 Dezimalen

Herkunft, Verbleib der Daten:
Terminaleingabe bzw. Programm

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):
Nur Zifferneingabe

Bemerkungen:
Wird nur bei Messmethode 2GT erfragt.

Feld-Name: BETA Feld-Typ: N Feld-Länge: 6 Dezimale: 4

Kurzbezeichnung: Kollimatorkonstante beta

Bedeutung:
Kollimatorkonstante Beta

Wertebereich, zulässige Code:

Herkunft, Verbleib der Daten:
Terminaleingabe

Feld-Name: BETAERR Feld-Typ: N Feld-Länge: 6 Dezimale: 4

Kurzbezeichnung: Fehlerwert für Kollimatorkonst. beta

Bedeutung:

Fehlerwert für die Bestimmung der Kollimatorkonstante Beta.

Wertebereich, zulässige Code:

Numerischer Wert mit 4 Dezimalen

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe bzw. Programm

Prüfungen (Plausibilität, Integrität):

Nur Zifferneingabe möglich

Bemerkungen:

Wird nur bei Messmethode 2GT erfragt.

Feld-Name: ANRAKT Feld-Typ: N Feld-Länge: 6 Dezimale: 2

Kurzbezeichnung: Anreicherung, tatsächlicher Wert

Bedeutung:

Tatsächlicher Wert der Anreicherung des UFG-Gases in Prozent

Wertebereich, zulässige Code:

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

Bemerkungen:

Der Wert wird nur während der Testphase zu Kontrollzwecken erfaßt.

Feld-Name: ANRBER Feld-Typ: N Feld-Länge: 6 Dezimale: 2

Kurzbezeichnung: Anreicherung, berechneter Wert

Bedeutung:

Anreicherung des UFG-Gases in Prozent, berechneter Wert

Wertebereich, zulässige Code:

Herkunft, Verbleib der Daten:

Terminaleingabe

