

KfK 3166
April 1981

Projekt Spaltstoffflußkontrolle

Jahresbericht 1979

Herausgeber: H.-R. Mache
Projekt Spaltstoffflußkontrolle

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Projekt Spaltstoffflußkontrolle

KfK 3166

Projekt Spaltstoffflußkontrolle

Jahresbericht 1979

Herausgeber: H.-R. Mache

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Annual Report of the Nuclear Safeguards Project 1979

Summary

The present report describes the major activities carried out in 1979 in the framework of the Nuclear Safeguards Project by the institutes of the Kernforschungszentrum Karlsruhe and the European Institute of Trans-uranium Elements.

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Arbeiten am Projekt Spaltstoffflußkontrolle, die von den an diesem Projekt beteiligten Instituten des Kernforschungszentrums Karlsruhe und dem Europäischen Institut für Transurane im wesentlichen im Jahre 1979 durchgeführt wurden.

I N H A L T

Seite

Einführung

1. <i>Entwicklung von Konzepten und Systemen zur Kernmaterialüberwachung</i>	4
1.1 Überwachungskonzepte für typische kerntechnische Anlagen	4
1.1.1 Überwachungskonzept für SNEAK	4
1.1.2 Überwachungskonzept für Trenndüsenanlagen	6
1.1.3 Vorarbeiten zur Überwachung von Wiederaufarbeitungsanlagen	8
1.1.4 Überwachungskonzept für den SNR-300	9
1.2 Theoretische Analyse der Pu/U/D ²³⁵ -Korrelation	10
1.3 Systemanalytische Untersuchungen zur optimalen Auswertung der vom Inspektor verifizierten Materialbilanzdaten	12
1.4 DV-System für die Kernmaterialüberwachung in der KfK	16
2. <i>Vorarbeiten zur Implementierung von Überwachungssystemen</i>	18
2.1 Einführung der EURATOM/IAEO-Kernmaterialüberwachung in der KfK	18
2.2 Entwicklung und Tests von Containment/Surveillance-Einrichtungen	19
2.3 Implementierung von direkten Meßmethoden	21
2.3.1 Bericht über den Entwicklungsstand des automatisierten Röntgenfluoreszenzanalysesystems	21
2.4 Implementierung von zerstörungsfreien Methoden	22
2.4.1 In-Line-Meßsystem zur Bestimmung der ²³⁵ U-Anreicherung in einer LWR-Brennelementfabrikationsanlage	22
2.4.2 Herstellung von physikalischen Standards für gamma-spektrometrische ²³⁵ U-Anreicherungsmessungen	24
2.4.3 Anlage zur Bestimmung des Plutoniumgehalts von schwach- und mittelaktiven Abfällen in 200-l-Fässern	26

	<u>Seite</u>
3. <i>Entwicklung und Erprobung von Verfahren und Komponenten im Zusammenhang mit der Kernmaterialüberwachung</i>	27
3.1 Direkte Meßmethoden	27
3.1.1 Emissionsspektrometrie mit Plasmaanregung	27
3.1.2 Isotopenkorrelationsexperiment	28
3.1.3 Serviceanalysen	31
3.2 Zerstörungsfreie Meßmethoden	32
3.2.1 Analyse der Urankonzentration in Lösungen mit Hilfe der K-Kanten-Gammaabsorptiometrie	32
3.3 Interlaboratoriumstests	34
3.3.1 Interlaboratoriumstest für direkte Meßverfahren	34
3.3.2 Interlaboratoriumstest für Plutoniumisotopen- Verhältnismessungen durch Gammaspektrometrie	38
Anhang: Verzeichnis der Veröffentlichungen des Projektes SpFK für das Jahr 1979	

Einführung

Im Projekt Spaltstoffflußkontrolle (PSpFK) werden technisch-wissenschaftliche Grundlagen für die internationale Überwachung von Kernmaterial bearbeitet. Mit den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Kernmaterialüberwachung sollen einerseits die Überwachungsbehörden und das BMFT und zum anderen Betreiber und Errichter von kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik unterstützt werden, mit vernünftigem Aufwand den internationalen Verpflichtungen (EURATOM- und IAEÜ-Überwachung nach dem EURATOM- bzw. NV-Vertrag) nachzukommen. Dabei sind politische und wirtschaftliche Randbedingungen zu berücksichtigen. Die Arbeiten werden überwiegend im Rahmen des IAEÜ-Unterstützungsprogramms der Bundesrepublik Deutschland und von ESARDA (European Safeguards Research and Development Association) durchgeführt.

Im vorliegenden Bericht werden die im Jahre 1979 innerhalb des Projektes Spaltstoffflußkontrolle erzielten Ergebnisse zusammengefaßt. Die Einzelbeiträge sind grob in drei Kapitel aufgeteilt, die sich durch die Zuordnung zu den drei Vorhaben des F+E-Programms des Projektes für 1979 ergeben. Der Bericht wurde von der Projektleitung unter Mitarbeit der Vorhabensleiter der am Projekt beteiligten Institute und Abteilungen erstellt. Die im Berichtszeitraum erschienenen Veröffentlichungen sind im Anhang zusammengestellt.

Entsprechend dem F+E-Programm des Kernforschungszentrums Karlsruhe war im Rahmen des Projektes für 1979 die Bearbeitung folgender Themenbereiche geplant:

- a) Entwicklung von Überwachungskonzepten für kerntechnische Anlagen
- b) Systemanalytische Untersuchung von Fragen der Auswertung von Materialbilanzdaten; theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Anwendung der Isotopenkorrelationstechnik
- c) Entwicklung von zerstörungsfreien und direkten Meßmethoden für die Kernmaterialüberwachung; Durchführung von Interlaboratoriumstests. Einsatz der Datenverarbeitung für die Kernmaterialüberwachung
- d) Entwicklung von Überwachungsmaßnahmen für die Durchführung der internationalen Überwachung

Dazu sind im wesentlichen die folgenden Ergebnisse erzielt worden:

- a) Die Verhandlungen über die "Anlagenspezifischen Anhänge" zu den kerntechnischen Einrichtungen des Zentrums mit EURATOM und IAEО konnten abgeschlossen werden, nachdem für alle Seiten akzeptierbare Lösungen zur Einführung der Überwachungsmaßnahmen erreicht werden konnten.

Für die Implementierung der Kernmaterialüberwachung in der SNEAK wurden für Versiegelungsvorrichtungen von Birdcages, Brennelementen und Corepositionen Realisierungsvorschläge ausgearbeitet, Prototypen entwickelt und erprobt.

Mit Hilfe von Versuchsprogrammen an verfügbaren Testanlagen wurden Teile des entwickelten Überwachungskonzepts für Trenndüsenanlagen experimentell abgesichert. Dabei ergaben z.B. die Messungen, daß Uranablagerungen bei der Demonstrationsanlage in der Größenordnung von 5-6 kg Uran zu erwarten sind, die aus der Sicht der Überwachung nicht relevant sind.

Im Rahmen der 1979 von IAEО gegründeten "International Working Group on Reprocessing Plant Safeguards (IWG-RPS)" wurden unterschiedliche Überwachungskonzepte für größere Wiederaufarbeitungsanlagen detaillierter untersucht. Außerdem wurde vom Projekt ein Seminar über Stand und Probleme der internationalen Überwachung größerer geplanter Wiederaufarbeitungsanlagen durchgeführt. Die Ergebnisse des Seminars dienen als Grundlage für die Festlegung der künftigen F+E-Schwerpunkte in diesem Bereich.

- b) Gemeinsam mit JRC Ispra wurde die Frage nach der "besten" Auswertung der von den Inspektoren mit Hilfe eigener Messungen verifizierten Materialbilanzdaten untersucht. Am konkreten Fall NUKEM wurden die praktischen Argumente für bzw. gegen jedes der beiden Verfahren diskutiert. Die Absicherung von Rechenverfahren zur Untersuchung von Isotopenkorrelationen an Experimenten konnte erfolgreich abgeschlossen werden.

- c) Das In-Line-Meßgerät zur Bestimmung der ^{235}U -Anreicherung von LWR-Brennstoff wurde bei RBU installiert. Es erlaubt die kontinuierliche Überwachung von UO_2 -Pellets mit einer Genauigkeit von $< 1 \%$. Aufbauend

auf Voruntersuchungen im Jahr 1978 ist ein Meßgerät zur schnellen und genauen Konzentrationsbestimmung von U und Pu in Lösungen fertiggestellt und in Betrieb genommen worden. Die bisherigen Testmessungen beschränkten sich auf die K-Kanten-Gammaabsorptionsmessungen in Uranlösungen. Zur Bestimmung von Spaltstoffen in Waste wurde die Emissionsspektrometrie mit Plasmaanregung untersucht, wobei nach bisher vorliegenden Ergebnissen die Nachweisgrenze bei $0,1 \mu\text{g Pu/ml}$ liegt. Der Interlaboratoriumstest AS-76 wurde abgeschlossen und das Experiment IDA-80 durch Homogenitätsprüfung des Probenmaterials und Festlegung der Datenerfassung und -auswertung vorbereitet. Die Arbeiten am KfK-internen DV-System für die Kernmaterialüberwachung konzentrierten sich auf die Erstellung der für SNEAK spezifischen Software.

- d) Für das Neutronenmeßgerät für Pu in 200 l Abfallfässern wurde an simuliertem Abfall die Meßgenauigkeit mit $\pm 15 \%$ und die Nachweisgrenze von 50 mg Pu im 200 l Faß als erreichbar ermittelt. Ein detailliertes Testprogramm von verschiedenen Siegelsystemen, Filmkameras, Videosystemen und einem Bildübertragungssystem wurde ausgearbeitet, das zeitlich abgestuft ab Anfang 1980 als Feldtest von IAEA-Geräten anlaufen wird. Gemeinsam mit Anlagenbetreibern, EURATOM und KWU konnte das Siegelssystem für LWR-Brennelemente festgelegt werden.

Im folgenden Text werden die Ergebnisse etwas ausführlicher dargestellt und Hinweise auf entsprechende Veröffentlichungen und die beteiligten Institutionen gegeben.

Für die Unterstützung bei der Erstellung der Einzelbeiträge möchte die Projektleitung Frau E. Mainka, Frau S. Schoof und den Herren R. Avenhaus, W. Beyrich, Chr. Brückner, W. Geiger, H. Ottmar, D. Sellinschegg, F. Voß, J. Weppner und H.W. Wiese ihren Dank aussprechen.

1. Entwicklung von Konzepten und Systemen zur Kernmaterialüberwachung

1.1 Überwachungskonzepte für typische kerntechnische Anlagen

1.1.1 Überwachungskonzept für SNEAK

Für kritische Anordnungen wurden im Rahmen einer IAE0-Arbeitsgruppe unterschiedliche Konzepte bzw. Konzeptelemente analysiert, u.a. im Hinblick auf ihre technische Realisierbarkeit und Übertragbarkeit auf andere Anlagen. Das in der KfK entwickelte, den Behörden IAE0 und EURATOM vorgeschlagene und von diesen akzeptierte Überwachungssystem /1/ stellte dabei das einzige bisher vollständig entwickelte Konzept für kritische Anordnungen dar. Es befindet sich z.Zt. in der Implementierung. Für Versiegelungsvorrichtungen von Birdcages, Brennelementen und Corepositionen wurden Realisierungsvorschläge ausgearbeitet, Prototypen entwickelt und erprobt (Abb. 1 und 2). Für Birdcages und Corepositionen sind von den Behörden akzeptierte Siegelkörper bereits im Einsatz. IAE0 und einige Staaten äußerten die Absicht, für mit SNEAK vergleichbare Anlagen Überwachungskonzepte zu realisieren, die weitgehend dem SNEAK-Konzept entsprechen.

Über den Betrieb der Personenschleuse, die in der SNEAK seit 3 Jahren routinemäßig eingesetzt ist, wurde ein Erfahrungsbericht vorgelegt /2/. Bisher arbeitete das System sowohl im elektronischen als auch mechanischen Teil ohne nennenswerte Störungen. Die erwartete Fehlalarmrate von 0,1 % wurde bestätigt.

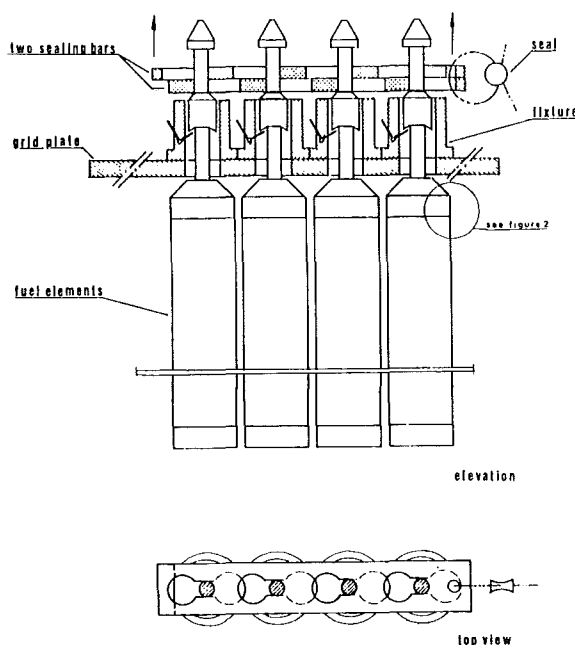


Abb. 1: Schema der Core-Positionsversiegelung für SNEAK

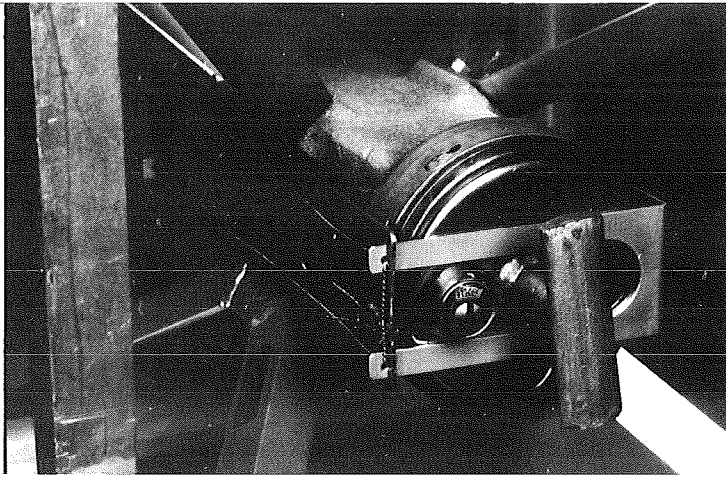


Abb. 2:

Versiegelungseinrichtung für Birdcages der SNEAK

Hauptergebnisse:

- Überwachungskonzept für SNEAK wurde akzeptiert und soll als Prototyp für ähnliche Anlagen dienen;
- erfolgreicher routinemäßiger Einsatz der Personenschleuse bei SNEAK.

Veröffentlichungen:

- /1/ BRÜCKNER, Chr.; JOURDAN, G.; MÖNNICH, E.; SCHEUERPFUG, W.; SELLINSCHEGG, D.; VOSS, F.
International safeguards in the large inventory fast critical assembly SNEAK. Safeguards and Nuclear Material Management. European Safeguards Research and Development Association (ESARDA), 1. Symp., Brussels, Belgium, April 25-27, 1979. Proceedings, ESARDA 10. S. 67-71.
- /2/ JOURDAN, G.; MÖNNICH, E.; SCHEUERPFUG, W.; SELLINSCHEGG, D.
Personnel portal monitors in development and use.
ibidem, S. 115-117.

Beteiligte Institutionen: EKS, HS, KTB

1.1.2 Überwachungskonzept für Trenndüsenanlagen

Der Schwerpunkt der Arbeiten lag bei der experimentellen Absicherung des entwickelten Überwachungskonzeptes /3/, /4/, /5/ mit Hilfe der Durchführung geeigneter Versuchsprogramme an Testanlagen, bei der Anpassung des für die Demonstrationsanlage erarbeiteten Konzeptes an die Randbedingungen der First Cascade (FC) ⁺⁾ sowie der Analyse von Verifikationsmöglichkeiten bestimmter Anlageninventare.

Wegen der Verzögerungen beim Aufbau des Stufenversuchsprogramm-Loops konnten ausschließlich Tests am "Loop zur kontinuierlichen UF₆-Verflüssigung" (Normetex-Loop) durchgeführt werden. Dies waren im einzelnen Versuche

- zur Bestimmung der Uran-Ablagerungen,
- zur Aufnahme der Förderkennlinie sowie
- zum Test der Funktion verschiedener Füllstandsmeßgeräte.

Die Messungen bei der UF₆-Erstbefüllung des Test-Pufferbehälters ergaben Uran-Ablagerungen (nach ca. 100 Stunden Einwirkzeit) von ca. 70 mg Uran pro qm. Für die DEMO-Anlage sind danach Ablagerungen in der Größenordnung von ca. 5-6 kg Uran zu erwarten, die aus der Sicht der Überwachung nicht relevant sind.

Die Aufnahme der Förderkennlinie bestätigte die Annahme, daß der Durchsatz der UF₆-Pumpen fast ausschließlich vom Pumpenvordruck abhängt.

Von den drei untersuchten Geräten zur Bestimmung des Pufferfüllstandes eignet sich ausschließlich das einen Verdrängerkörper verwendende Meßgerät.

Die Anpassung des Überwachungskonzeptes beinhaltet im wesentlichen die Modifikation der Inventaraufnahme, da bei der FC (erste Ausbaustufe der DEMO-Anlage) u.a. andere Taktzeiten der Einzelkomponenten auftreten werden. Zudem wurde der Umfang der vorgesehenen Überwachungsmaßnahmen wegen des

⁺⁾ Es sollen Elemente des für die Demonstrationsanlage erarbeiteten Überwachungskonzeptes getestet werden; es ist nicht daran gedacht, die Überwachung der FC nach diesem Konzept durchzuführen.

geringen Kernmaterialinventars und des nicht produktiven Charakters der Anlage wesentlich reduziert.

Eine Verifikation des Kaskadeninventars mit Hilfe der Minor Isotope Technique (MIST) bei einer Trenndüsenanlage ist nach den vorliegenden Untersuchungen nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand möglich und erscheint auch in Anbetracht der im erarbeiteten Konzept vorgestellten Möglichkeiten der meßtechnischen Erfassung des Kaskadeninventars wenig sinnvoll.

Hauptergebnisse:

- Für die DEMO-Anlage ist mit Ablagerungen von ca. 5-6 kg Uran zu rechnen.
- Messung des Pufferfüllstandes ist mit dem einen Verdrängerkörper verwendenden Meßgerät durchführbar.
- Durchsatz der UF_6 -Pumpen ist über den Pumpenvordruck mit ausreichender Genauigkeit bestimmbar.

Veröffentlichungen:

/3/ BAHM, W.; WEPPNER, J.; DIDIER, H.J.

A Uranium Enrichment Facility Safeguards Technology Based on the Separation Nozzle Process, Nuclear Safeguards Technology 1978. Proc. of a Symp. on Nuclear Material Safeguards, Wien, 2.-6. Oktober 1978. Vienna: IAEA 1979, Vol. I, S. 191-203, IAEA-SM-231/14.

/4/ BAHM, W.; DIDIER, H.J.; GUPTA, D.; SCHWEGMANN, P.

Entwicklung eines Überwachungskonzeptes für Trenndüsenanlagen, Abschlußbericht der Projektdefinitionsphase 1976, KfK-2894 (Nov. 1979).

/5/ BAHM, W.; DIDIER, H.J.; GUPTA, D.; WEPPNER, J.

Material Management and International Safeguards in a Uranium Enrichment Facility Based on Separation Nozzle Process, Safeguards and Nuclear Material Management, ESARDA, 1. Symp., Brussels, Belgium, April 25-27, 1979, Proceedings, ESARDA 10, S. 62-66.

Beteiligte Institutionen: EKS

INTERATOM, CNEN, NUCLEI

1.1.3 Vorarbeiten zur Überwachung von Wiederaufarbeitungsanlagen

Im Zusammenhang mit INFCE und im Rahmen der 1979 von IAEA gegründeten Arbeitsgruppe "International Working Group on Reprocessing Plant Safeguards (IWG-RPS)" wurden die von vier Staaten (Frankreich, Japan, England, U.S.A.) vorgeschlagenen Überwachungskonzepte verglichen. Als Kriterien wurden dabei die Wichtung von Bilanzierungs- und Containment/Surveillance-Maßnahmen, die zugrunde gelegten Überwachungsziele, die Bewertungsmethoden, betriebliche Auswirkungen, Stand der Entwicklung u.a. verwendet. Keiner der Vorschläge war soweit im Detail ausgearbeitet, daß er implementiert werden könnte, und die Einzelelemente der Konzepte befanden sich in sehr unterschiedlichen Entwicklungsstadien. Viele Probleme, wie z.B. die Konsequenzen von Alarmen in Systemen mit Schwergewicht auf Containment/Surveillance-Maßnahmen sind bisher noch ungeklärt.

Über den Stand und die Problematik der internationalen Überwachung größerer geplanter Wiederaufarbeitungsanlagen fand im Rahmen eines Seminars, welches vom Projekt Spaltstoffflußkontrolle durchgeführt wurde, ein reger Gedankenaustausch zwischen Betreibern, Errichtern von Anlagen, Entwicklern von Konzepten, Systemen und Meßgeräten und mit der Durchführung der Überwachung betrauten Behörden statt. Es wurden gemeinsame Empfehlungen für künftige Arbeitsschwerpunkte erarbeitet. In diesem Zusammenhang wurde die bisherige Überwachungspraxis in der japanischen Wiederaufarbeitungsanlage Tokai-mura im Hinblick auf eine mögliche Übertragung auf eine große deutsche Wiederaufarbeitungsanlage analysiert. Ebenso wurden international eingebrachte Ansätze zur statistischen Auswertung von in kurzen Perioden erstellten Materialbilanzen ohne Anlagenstillstand untersucht.

Hauptergebnisse:

- Die Leistungsfähigkeit von verschiedenen Überwachungskonzepten für Wiederaufarbeitungsanlagen konnte nicht endgültig bewertet werden, da z.Zt. noch viele offene Fragen bestehen. Für künftige F+E-Arbeiten wurden von Betreibern, Errichtern, Entwicklern und mit der Durchführung der Überwachung betrauten Behörden Empfehlungen abgeleitet.

Beteiligte Institutionen: EKS, PSpFK-PL

1.1.4 Überwachungskonzept für den SNR-300

Für den SNR-300 wurde gemeinsam mit INB und SBK eine Liste von Abzweigszenarios ausgearbeitet, die eine wichtige Grundlage für die weitere Diskussion des Überwachungskonzepts mit der IAEA darstellt.

In der Liste sind alle technischen Möglichkeiten für die Abzweigung von Kernmaterial zusammengestellt und die in diesem Zusammenhang erforderlichen Handlungen beschrieben. Es wird davon ausgegangen, daß der Kernbrennstoff im SNR-300 nur in Form geschlossener Einheiten (Brennelemente) vorliegt. Die Kernmaterialüberwachung ist deshalb durch Verfolgen dieser Einheiten auf ihrem Weg durch die Anlage gewährleistet. Die Szenarios liefern die Hinweise, welche Instrumentierung erforderlich ist, um die Abzweigpfade zu sichern.

Hauptergebnis: Zusammenstellung einer Liste von Abzweigszenarios für den SNR-300.

Beteiligte Institutionen: HS
INB, SBK

1.2 Theoretische Analyse der Pu/U/D²³⁵-Korrelation

Die Absicherung der Rechenverfahren zur Untersuchung von Isotopenkorrelationen durch experimentelle Daten konnte zu einem ersten erfolgreichen Abschluß gebracht werden (eine ausführliche Beschreibung der Isotopenkorrelationstechnik wurde bereits im Jahresbericht 1978 des PSpFK gegeben.

Im Vergleich mit amerikanischen Referenzrechnungen zeigt sich eine weitgehend zufriedenstellende Übereinstimmung /6/. Der Vergleich mit experimentellen Analysen - Robinson-Reaktor - ergibt für die Hauptaktiniden minimale Abweichungen - z.B. U-238 0.06 %, Pu-239 1.3 %, Pu-241 4.4 %. Größere Abweichungen - etwa Pu-242, Am-241, Am-243 und Cm-242 zwischen 12 % und 25 % -

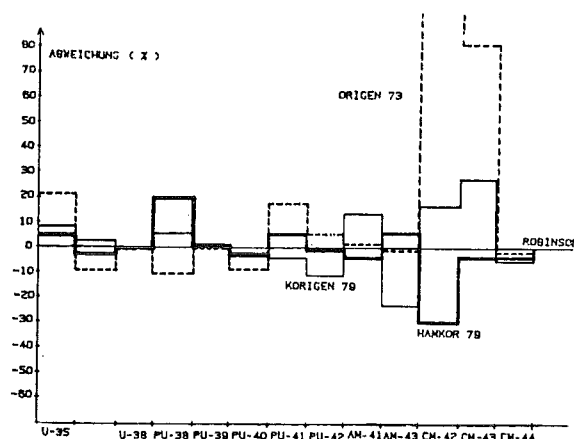


Abb. 3: Prozentuale Abweichungen ($\frac{\text{Messung-Rechnung}}{\text{Messung}} \times 100$), zwischen gemessener (Robinson-Druckwasserreaktor) und berechneter Aktinidenkonzentration im Falle ORIGEN 73, KORIGEN 79 (ORNL-Querschnitte) und HAMKOR (U- und Pu-Querschnitte auf KEDAK-3-Basis).

lassen auf noch immer unzulängliche Querschnitte der höheren Aktiniden schließen. Erste Rechnungen mit U- und Pu-Querschnitten auf KEDAK-3-Basis bestätigen diese Vermutung. Bis auf Pu-238, Cm-242 und Cm-245 zeigt sich nunmehr eine äußerst befriedigende Übereinstimmung - die Abweichungen betragen z.B. für U-238 0.03 %, Pu-239 0.05 %, Am-241 3.4 %. Die noch ausstehende Einbeziehung der Am- und Cm-Querschnitte entsprechend KEDAK-3 läßt eine maximale Übereinstimmung erwarten.

Eine kritische Analyse zum Einsatz der Isotopenkorrelation als flankierende Maßnahme bei der Spaltstoffflußkontrolle wurde in internationalen Diskussionen (NEACRP) vorgestellt. Es wurde deutlich gemacht, daß ein Verfahren zur Kombination von Korrelationen zu entwickeln ist, welches die Unsicherheit in der Voraussage des Plutoniumgehalts abgebrannter Brennelemente verringert und Brennelemente erkennen läßt, die nicht das normale Abbrandverhalten aufweisen.

Hauptergebnisse:

- Zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen experimentellen Daten und Ergebnissen aus Rechenverfahren für U-235, U-238, Pu-239 und Pu-241.
- Notwendigkeit für die Kombination verschiedener Korrelationsbeziehungen zur genaueren Pu-Gehaltsbestimmung in abgebrannten Brennelementen.

Veröffentlichungen:

/6/ WIESE, H.W.

Stand der im KfK verfügbaren Methoden und Daten zur Vorhersage des Verhaltens von Leichtwasserreaktor-Brennstoff im nuklearen Brennstoffkreislauf. KfK-Nachrichten, 11 (1979), Nr. 3, S. 76-81.

Beteiligte Institutionen: INR

1.3 Systemanalytische Untersuchungen zur optimalen Auswertung der vom Inspektor verifizierten Materialbilanzdaten

Gemeinsam mit CCR Ispra wurde die Frage nach der "besten" Auswertung der von den Inspektoren mit Hilfe eigener Messungen verifizierten Materialbilanzdaten untersucht. Entsprechend der Struktur des Überwachungssystems kann der Anlagenbetreiber versuchen, Material zu entwenden, indem er entweder keine Daten fälscht und hofft, die Unsicherheit der Bilanz verschleiern diese Entwendung, oder indem er Daten so fälscht, daß die Bilanz "aufgeht" und die Verifikationsmaßnahmen diese Fälschung nicht aufdecken, oder aber indem er beides versucht. Zur Bestimmung der Effizienz des Gesamtsystems muß die Entdeckungswahrscheinlichkeit für eine vorgegebene zu entwendende Menge M unter der Annahme ermittelt werden, daß der Betreiber eine für ihn optimale Kombination der obengenannten Entwendungsstrategien wählt.

Da die Überwachungsprozedur für eine Inventurperiode im Prinzip auf die Durchführung zweier Tests (MUF- und D-Test) hinausläuft, erhebt sich die Frage nach der geeigneten Kombination dieser Tests. Ein naheliegendes Verfahren besteht darin, den Signifikanz-Test für Differenzen zwischen Betreiber- und Inspektordaten (D-Test) von dem MUF-Test für die Gesamtbilanz getrennt durchzuführen, so daß die Gesamt-Fehlalarmwahrscheinlichkeit einen vorgegebenen Wert α nicht überschreitet. Ein analytisches Problem ergibt sich dadurch, daß die beiden Teststatistiken D und MUF nicht unabhängig sind, da die Betreiberdaten in beiden Teststatistiken vorkommen. Es zeigt sich //, daß das Optimierungsproblem zur Erreichung einer maximalen garantierten Entdeckungswahrscheinlichkeit unter bestimmten Voraussetzungen eine relativ einfach darstellbare Lösung hat.

Sind α_1 und α_2 die Einzel-Fehlalarmwahrscheinlichkeiten und U die Umkehrfunktion der Gauß'schen Normalverteilung, so lassen sich in der $(U_{1-\alpha_1}, U_{1-\alpha_2})$ -Ebene Kurvenscharen $U_{1-\alpha_2} = f(U_{1-\alpha_1})$ für einen festen Wert von α auftragen mit ρ_0 als Korrelationskoeffizient. Die optimalen (α_1, α_2) -Werte sind bestimmt durch die Berührungspunkte der Tangente mit Anstieg $1/\rho_0$ an die jeweilige Scharcurve (siehe Abb. 4).

Dieses Verfahren stellt allerdings nicht das einzige mögliche Verfahren dar. Man kann auch die beiden Tests zu einem Test zusammenfassen:

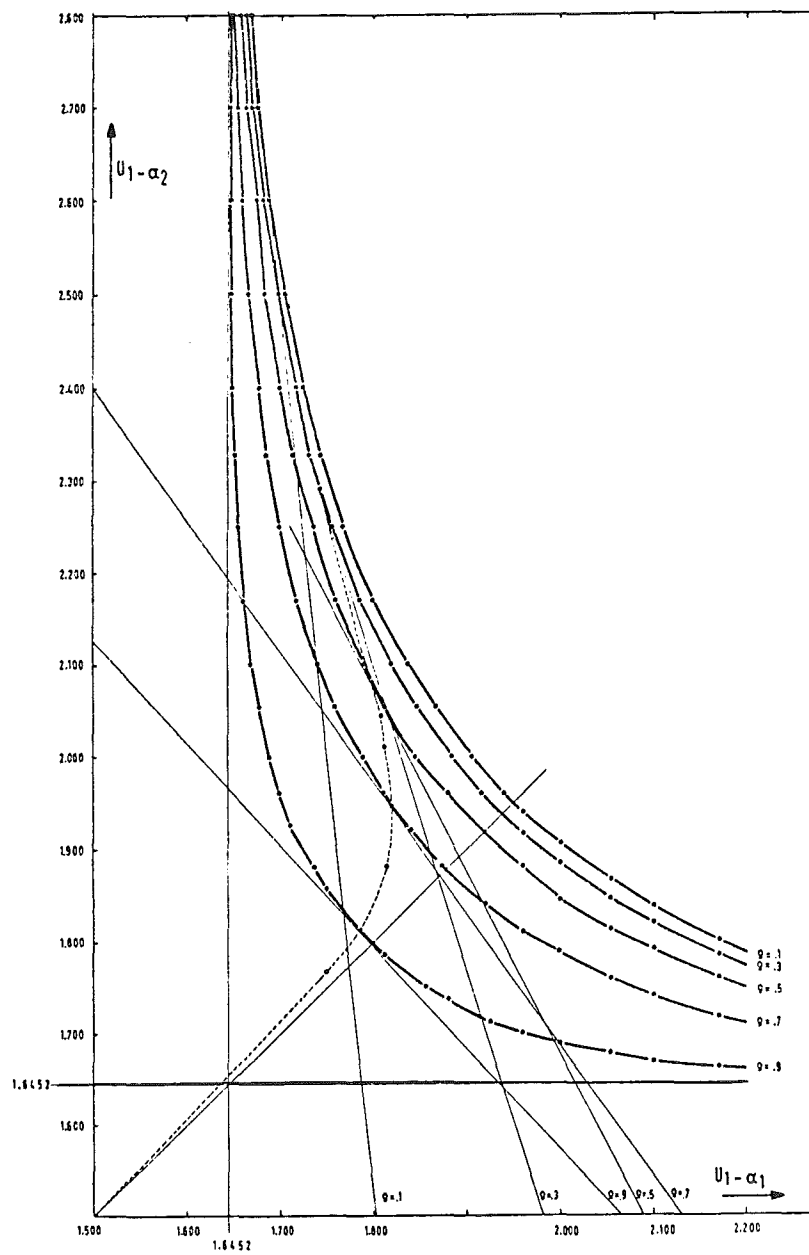


Abb. 4: Lösung des Optimierungsproblems für den
(D, MUF)-Test

Beispielsweise könnte man die Differenz MUF-D bilden und einen Signifikanztest für diese Statistik allein durchführen. Anschaulich bedeutet dies, die Betreiberdaten in gewissem Sinn durch die Inspektordaten zu korrigieren, was auf der anderen Seite wieder dazu führen könnte, daß Betreiber und Inspektoren, die ja dann zwei verschiedene Bilanzen führen, zu verschiedenen Ergebnissen gelangen.

In einer ersten Arbeit wurde mit Hilfe des Neyman-Pearson-Lemma das kombinierte Testverfahren untersucht. Das Ergebnis wurde in einer weiteren Arbeit dem des Einzeltestverfahrens gegenübergestellt. Da keine eindeutige Entscheidung zugunsten eines der beiden Verfahren getroffen werden konnte, d.h. da es von den Werten der Parameter des Problems abhängt, welches Verfahren zu einer höheren Gesamt-Entdeckungswahrscheinlichkeit führt, wurden am konkreten Fall der NUKEM die numerischen Unterschiede bestimmt, und es wurden praktische Argumente für bzw. gegen jedes der beiden Verfahren diskutiert.

Hauptergebnisse:

- Detaillierte Analyse von alternativen Auswerteverfahren für verifizierte Materialbilanzdaten. Anwendung der Verfahren auf Daten der NUKEM zur Sammlung praxisbezogener Argumente für die Entscheidung zwischen den Verfahren.

Veröffentlichungen:

/7/ AVENHAUS, R.; FRICK, H.

Statistical Analysis of Alternative Data Evaluation Schemes (The MUF-D-Evaluation Problem), Safeguards and Nuclear Material Management, ESARDA, 1. Symp., Brussels, Belgium, April 25-27, 1979, Proceedings, ESARDA 10, S. 442-46.

/8/ HÖPFINGER, E.; AVENHAUS, R.

A Game Theoretic Framework for Dynamic Standard Setting Procedures, Intern. Institute for Applied Systems Analysis, IIASA, Laxenburg, Austria. Research Memorandum, RM-78-64.

/9/ AVENHAUS, R.; FRICK, H.

Vergleich zweier Verfahren der Materialbilanzierung, Operations Research, Tagung, Aachen, 31.8.-2.9.1977. Henn, R.; Kall, P. (u.a. Hrsg.):

Operations Research Verfahren, Methods of Operations Research, Bd. 30.
Meisenheim a.Glan: Hain 1979, S. 187-91.

/10/ AVENHAUS, R.

Significance Thresholds of Onesided Tests for Means of Bivariate
Normally Distributed Variables. With Annex by N. Nakicenovic.
Communications in Statistics, P.A.: Theory and Methods, Vol. A 8 (1979),
S. 223-35.

AVENHAUS, R.; BEEDGEN, R.

Statistical Analysis of Alternative Data Evaluation Schemes - Part II:
Extended Theoretical Considerations ((D,MUF)-Problems), Safeguards and
Nuclear Material Management, ESARDA, 2. Symp., Edinburgh, Great Britain,
March 26-28, 1980, Proceedings, ESARDA 11, S. 167-72.

Beteiligte Institutionen: IDT

NUKEM, CCR Ispra

1.4 DV-Systeme für die Kernmaterialüberwachung in der KfK

Die Arbeiten zur Realisierung des DV-Systems für die Kernmaterialüberwachung im KfK konzentrierten sich im Berichtszeitraum in erster Linie auf die Erstellung der für die SNEAK spezifischen Software. Im einzelnen wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Die institutsunabhängigen Grundfunktionen für die Kernmaterialprozesse (Transfer, Zerlegung, Vereinigung) und weitere allgemeinere Programmenteile (Zugriffsroutinen für Codetabellen u.a.) wurden implementiert.
- Die SNEAK-spezifischen Dialoge für die Anfangsbestandsaufnahme der Kernmaterialien (Dialoge für Eingabe des Materialtyps, Brennelementtyps, Ortsinitialisierung sowie Material- und Brennelement-Bestandsaufnahme) wurden entworfen und programmiert. Abb. 5 zeigt ein Beispiel für den Dialog zur Brennelementtypinitialisierung.
- Ein Teil der SNEAK-spezifischen Dialoge zur Spezifizierung der Kernmaterialprozesse, wie z.B. der Brennelementmontage-Dialog, wurde entworfen.
- Die Programme für die Aufstellung des realen Bestandes für EURATOM und für einen Großteil der betrieblichen SNEAK-Bestandsberichte wurden erstellt.

BE-TYP-INITIALISIERUNG				11.12.79/15.35
ANORDNUNG	BE-TYP	DATUM	EXPERIMENTATOR	ANZAHL MAT.
SN-11-C2	T/01-25	1.10.78	MUELLER	7
		LFD. NR.	MATERIALBEZEICHNUNG	STUECK
		1	U-13% NP1	10
		2	UO2/PUO2 19% NP6 (F)	16
		3	UO2-MAT NP6	24
		4	SS 100% NP1	115
		5	SS 25% NP1	46
		6	AL 100% NP3	12
		7	AL 25% NP3	16

Abb. 5: Beispiel für einen Dialog zur Erfassung der Kernmaterialdaten

Das Kernmaterialüberwachungssystem wurde zudem vom Rechnersystem Siemens-330 auf das neue Rechnersystem Siemens-R30 übertragen; dadurch lassen sich kürzere Antwortzeiten bei den Dialogen und kürzere Programmaufzeiten erzielen.

Hauptergebnisse:

- Weitgehender Abschluß der Implementierungsarbeiten am institutsunabhängigen Systemkern.
- Erstellung von SNEAK-spezifischen Dialogen für die Anfangsbestandsaufnahme und Programmen für die Ausgabe von Bestandsberichten.

Veröffentlichungen:

- /11/ JARSCH, V.; ONNEN, S.; POLSTER, F.J.; WOIT, J.
Uniform Data Description for a Generalized Real-Time Nuclear Materials Control System, Nuclear Safeguards Technology 1978. Proc. of a Symp. on Nuclear Material Safeguards, Wien, 2.-6. Oktober 1978. Vienna: IAEA 1979, Vol. I, S. 167-70, IAEA-SM-231/11.
- /12/ JARSCH, V.; ONNEN, S.
MACSY - A Minicomputer Accounting and Control System, Nuclear Materials Management, 8 (1979).

Beteiligte Institutionen: IDT, EKS

2. Vorarbeiten zur Implementierung von Überwachungssystemen

2.1 Einführung der EURATOM/IAEO-Kernmaterialüberwachung in der KfK

Die Verhandlungen der in "Anlagenspezifischen Anhängen" festgelegten technischen Einzelheiten der Kernmaterialüberwachung im Kernforschungszentrum Karlsruhe mit IAE0 und EURATOM konnten abgeschlossen werden. Neben den Festlegungen für das Buchführungs- und Berichterstattungssystem und den Bestimmungen für die Verifikationstätigkeiten in den einzelnen "Anlagen" und "Materialbilanzzonen außerhalb der Anlagen", einschließlich der Anwendung von Versiegelungs- und Beobachtungsmaßnahmen, bildeten die Regelungen für die Überwachung von Abfällen ein besonderes Problem. Es konnte erreicht werden, daß die Abfälle innerhalb von Grenzwerten und unter Bedingungen, die sehr weitgehend den betrieblichen Erfordernissen und bisherigen Erfahrungen entsprechend festgelegt sind, von der Überwachung befreit werden, so daß sie bereits bei der Konditionierung nicht mehr überwachungspflichtig sind.

Hauptergebnis: Festlegung der durch Verhandlungen erzielten und in den Anlagenspezifischen Anhängen niedergelegten technischen Regelungen für die Überwachung aller kerntechnischen Einrichtungen der KfK.

Veröffentlichungen:

/13/ BRÜCKNER, Chr.; BÜKER, H.; BUTTLER, R.; GUPTA, D.

Sicherheitsüberwachung in Großforschungszentren der Bundesrepublik Deutschland, Sicherheitsüberwachung und Nichtverbreitung, Internationale Informationstagung, Mainz, 22.-23. Januar 1979. Bonn: Dt. Atomforum 1979, S. 121-33.

/14/ BRÜCKNER, Chr.

Zur Verifikation des Kernmaterialbestandes an Siemens-Unterrichtsreaktoren mit Hilfe des Nachweises der Kritikalität, Safeguards and Nuclear Material Management, ESARDA, 1. Symp., Brussels, Belgium, April 25-27, 1979, Proceedings, ESARDA 10, S. 281-83.

Beteiligte Institutionen: HS

2.2 Entwicklung und Tests von Containment/Surveillance-Einrichtungen

Für Feldtests von Beobachtungs- und Versiegelungssystemen der IAEO wurde ein detailliertes Testprogramm ausgearbeitet. Es umfaßt Tests von verschiedenen Siegelssystemen, Filmkameras, Videosystemen und einem Bildübertragungssystem, die zeitlich abgestuft ab Anfang 1980 im KKW Biblis, der WAK und bei KfK anlaufen sollen.

Bezüglich der Entwicklung und dem Test eines Siegelsystems für LWR-Brennelemente konnte gemeinsam mit den beteiligten Anlagenbetreibern, EURATOM und KWU die endgültige Siegelauslegung festgelegt werden. Sie ermöglicht die Anwendung des Siegelsystems an allen SWR-Brennelementen deutscher Fertigung. Für das Demonstrationsexperiment am VAK werden drei Brennelemente mit je vier modifizierten Haltestab-Endstopfen versehen, auf die die Siegel aufgesetzt werden können.

Durch Abreißversuche wurde nachgewiesen, daß das Siegel-Endstopfensystem den zu stellenden Sicherheitsanforderungen genügt. Das Genehmigungsverfahren mit dem TÜV Bayern als Gutachter konnte mit positivem Ergebnis abgeschlossen werden.

Die Entwicklung eines Überwachungskamerasystems auf der Basis einer Super-8-Filmkamera wurde fortgeführt. Eine industriell gefertigte Kleinserie des Kamerasystems wurde im eigenen Labor und bei der IAE O eingehenden Tests unterzogen. Die Ergebnisse führten zu Änderungen, mit denen noch im Verlauf der Fertigung eine Reihe von Verbesserungen erreicht werden konnten:

Energieverbrauch einer Kamera pro Bildauslösung

Normalbelichtungszeit

alte Ausführung: 0,47 A·sec

neue Ausführung: 0,16 A·sec

Langzeitbelichtung

alte Ausführung: 4,7 A·sec

neue Ausführung: 0,68 A·sec

Stromaufnahme des Timers, neue Ausführung: 10 μ A

Die Kameras sind für die Aufnahme von Großkassetten (60 m, 14000 Aufnahmen) ausgerüstet. Die Vorbereitung der industriellen Fertigung einer zweiten Kleinserie, bei der Datums- und Zeiteinspiegelung zusätzlich verwirklicht sind, konnte abgeschlossen werden.

Hauptergebnisse:

- Design des Siegels für SWR-Brennelemente der KWU weitgehend abgeschlossen.
- Bereitstellung von Kamerasystemen mit reduziertem Energieverbrauch für den autarken Langzeitbetrieb.

Veröffentlichungen:

/15/ BRÜCKNER, Chr.; STEIN, G.

Die Anwendung von Einschließungs- und Beobachtungsmaßnahmen, Sicherheitsüberwachung und Nichtverbreitung, Internationale Informationstagung, Mainz, 22.-23. Januar 1979. Bonn: Dt. Atomforum 1979, S. 273-83.

/16/ BRÜCKNER, Chr.; PFEFFER, K.H.

Ein Kamerasystem zum Einsatz bei der Kernmaterialüberwachung in kerntechnischen Anlagen, Safeguards and Nuclear Material Management, ESARDA, 1. Symp., Brussels, Belgium, April 25-27, 1979, Proceedings, ESARDA 10, S. 109-14.

Beteiligte Institutionen:

HS

EURATOM, KWU, KKW Biblis, VAK, NUKEM

2.3 Implementierung von direkten Meßmethoden

2.3.1 Bericht über den Entwicklungsstand des automatisierten Röntgenfluoreszenzanalysesystems

Die Arbeiten an der automatisierten Probenvorbereitung wurde mit der Fertigstellung und dem Test weiterer mechanischer Komponenten fortgeführt. Für die Steuerungssoftware wurden Fließschemata erstellt. Parallel dazu wurde der Instrumentenrechner und die Anwendersoftware getestet.

Hauptergebnis: Fortsetzung der Entwicklung der automatisierten Probenvorbereitung

Beteiligte Institutionen: IRCh

2.4 Implementierung von zerstörungsfreien Methoden

2.4.1 In-Line-Meßsystem zur Bestimmung der ^{235}U -Anreicherung in einer LWR-Brennelementfabrikationsanlage

Das In-Line-Meßgerät zur Bestimmung der ^{235}U -Anreicherung von LWR-Brennstoff wurde zur Fa. Reaktorbrennelement-Union GmbH (RBU) in Hanau transferiert und dort installiert. Mit dem Meßgerät wird zunächst in 2 Prozeßlinien die ^{235}U -Anreicherung von UO_2 -Pulver oberhalb der Pelletpressen mit einer relativen Genauigkeit von $\leq 1\%$ bestimmt und kontinuierlich überwacht. Es wird z.Zt. ausschließlich für Zwecke der Prozeßkontrolle eingesetzt; Modalitäten für seine Verwendung zu Überwachungszwecken wurden noch nicht festgelegt.

Abb. 6 zeigt als Beispiel die Art des Ergebnisprotokolls, welches der Operateur nach Beendigung der Messung an einem Pulverlos vom Meßsystem auf Anforderung abrufen kann. Die Materialdaten werden zu Beginn der Verarbeitung vom Operateur eingegeben. Ein Meßzyklus dauert 1000 sec. Bei Abweichungen der gemessenen Anreicherung von vorgegebenen Toleranzgrenzen für den Sollwert induziert das Meßsystem das Blinken einer Warnlampe am Pressenbunker.

Die erzielten statistischen Meßfehler betragen bei einer ^{235}U -Anreicherung von 3 % ca. 0,3-0,4 % relativ.

Eine zuverlässige Absoluteichung wird erst dann möglich sein, wenn UO_2 -Pulver mit verschiedenen Anreicherungsgraden durch die gleiche Prozeßlinie gefahren worden ist.

Hauptergebnis: Installation des ^{235}U -Anreicherungsmeßgeräts bei RBU

Veröffentlichungen:

/36/ MATUSSEK, P.; ALLEX, H.

A Computerized ^{235}U Enrichment Monitor for Continuous Process Control Measurements in a LWR Fuel Fabrication Plant, Safeguards and Nuclear Material Management, ESARDA, 1. Symp., Brussels, Belgium, April 25-27, 1979, Proceedings, ESARDA 10, S. 303-305.

Beteiligte Institutionen: IAK; RBU

2. LINIE

OPERATORNR. :

3422.

DATUM 18/ 3/80

UHPZEIT 7:27: 3

AUFTRAGSKENNZ. :

KKG-G

PULVERLOSNR. :

6.

PELLETLOSNR. :

4.

GEM. ANREICHERUNG (MITTELWERT) :

3.309383 %

STAND. ABWEICHUNG (ABSOLUT) :

0.011325 %

ANREICHERUNG SOLLWERT :

3.300 %

TOLERANZGRENZE (ABSOLUT) :

0.050 %

MAX. GEM. ANREICHERUNG :

3.339170 %

MIN. GEM. ANREICHERUNG :

3.270441 %

ANZAHL DER MESSUNGEN :

353.

UNTERHALB DER TOLERANZ :

0.

OBERHALB DER TOLERANZ :

0.

MATERIALHERKUNFT :

UF 6 AUS UDSSR

SCHROTTANTEIL :

10. %

GEW. PULVERLOS :

123. KG

ZUSATZINFORMATION :

1172.410889

284.424255

0.848910

0.850510

11.315621

9.370334

0.022762

0.017807

Abb. 6: Ergebnisprotokoll einer ²³⁵U-Anreicherungs-
messung an UO₂-Pulver in einer Prozeßlinie
bei der Fa. RBÜ

2.4.2 Herstellung von physikalischen Standards für gammaspektrometrische ^{235}U -Anreicherungs-messungen

Im Rahmen des ESARDA-Vorhabens zur Herstellung sogenannter primärer physikalischer Standards für gammaspektrometrische ^{235}U -Anreicherungs-messungen wurden an ersten Prototypproben (Abb. 7) Präzisionsmessungen durchgeführt. Abb. 8 zeigt die bei KfK erzielten Meßergebnisse aus den gammaspektrometrischen Vergleichsmessungen an 20 Prototypstandards. Dabei ergab sich, daß die angestrebte Spezifikation - Gleichförmigkeit der Gammaemissionsrate für die 185 keV Strahlung des ^{235}U von $\leq 0,2\%$ für Standards mit gleicher Anreicherung - erreicht werden kann. Im Jahr 1980 kann bei ZBKM in Geel mit der Herstellung der Standards begonnen werden.

Hauptergebnis: Gültigkeit des Herstellungskonzeptes experimentell
verifiziert

Veröffentlichungen:

/25/ OTTMAR, H.; EBERLE, H.

Determination of Plutonium Isotopic Composition by Gamma-Spectrometry: Results from Interlaboratory Comparison Measurements
Organized by ESARDA, Safeguards and Nuclear Material Management,
ESARDA, 1. Symp., Brussels, Belgium, April 25-27, 1979, Proceedings
ESARDA 10, S. 366-73.

Beteiligte Institutionen:

IAK

ESARDA, ZBKM Geel, JRC Ispra, NBS Washington

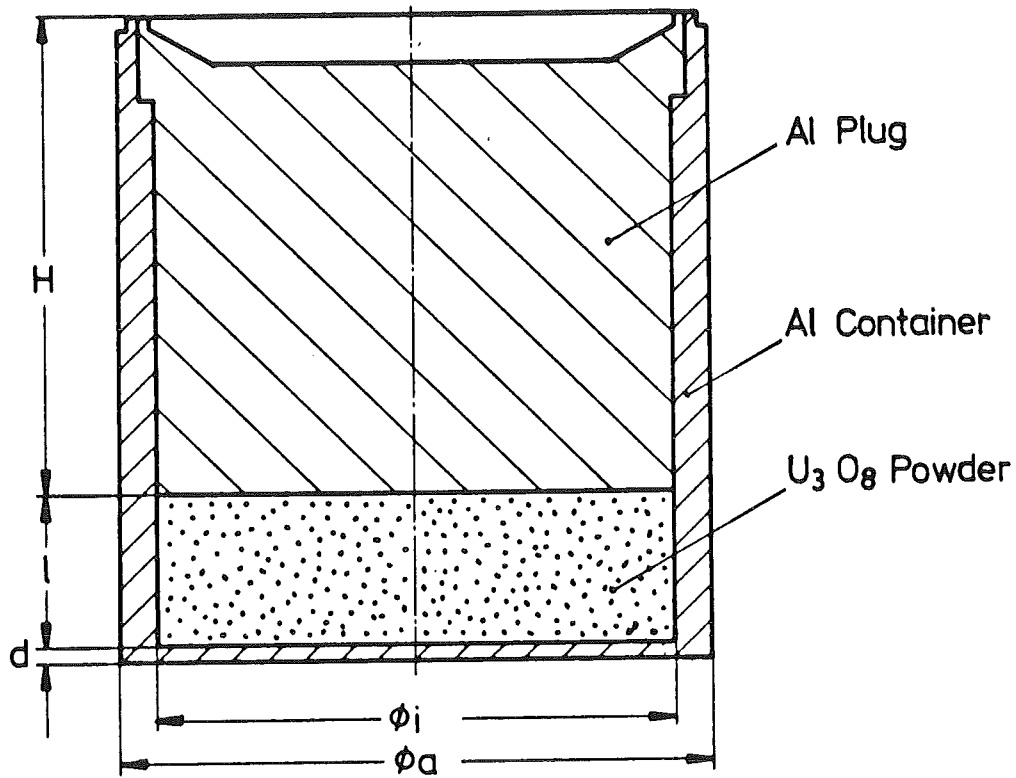


Abb. 7: Querschnitt einer U_3O_8 -Standardprobe.
Typische Abmessungen: $H = 66$ mm, $l = 21$ mm, $d = 2$ mm,
 $\phi_i = 70$ mm, $\phi_a = 80$ mm

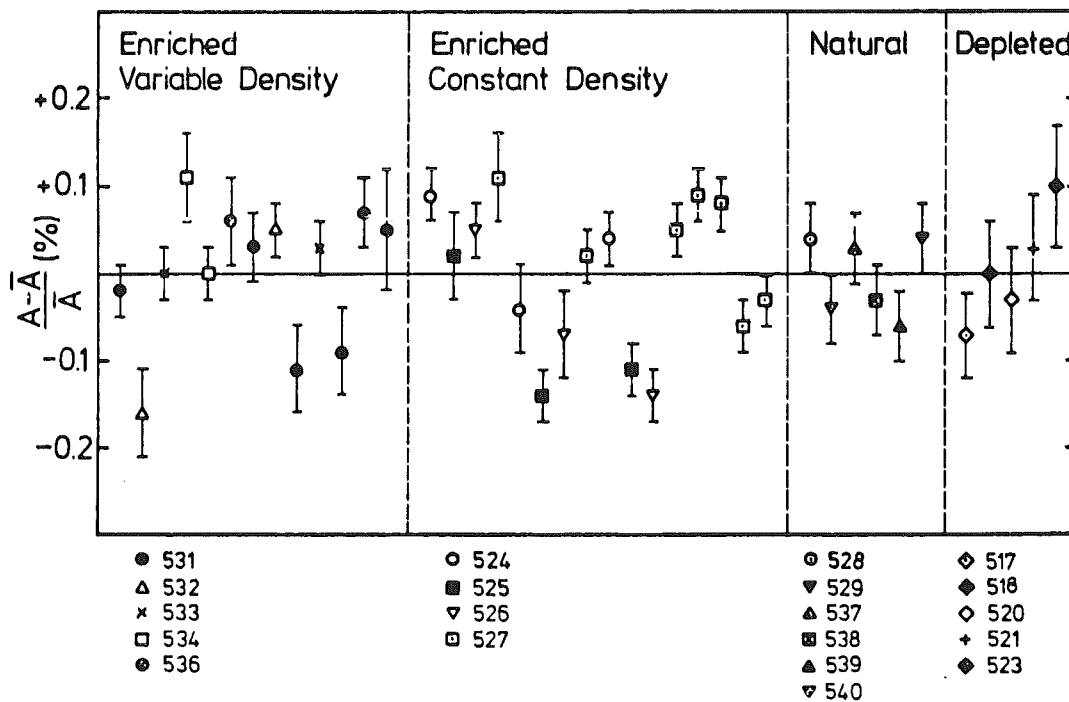


Abb. 8: Relative Abweichung der von individuellen Proben gemessenen Aktivität A der 186 keV-Gammalinie des ^{235}U von der mittleren Aktivität $\bar{A}$ eines Probensatzes

2.4.3 Anlage zur Bestimmung des Plutoniumgehalts von schwach- und mittelaktiven Abfällen in 200-l-Fässern

Zur Bestimmung des Plutoniumgehalts in 200-l-Fässern wurde eine Neutronenmeßanlage bei HDB aufgestellt und erprobt. Durch Messungen an simuliertem Abfall wurden die Meßgenauigkeit und Nachweisempfindlichkeit der Anlage ermittelt. Eine Mengenbestimmung auf $\pm 15\%$ und eine Nachweisgrenze von 50 mg Pu im 200-l-Faß scheinen erreichbar /37/.

Hauptergebnis: Nachweis von ≥ 60 mg Pu in 200-l-Fässern scheint durch die Messung von emittierten Neutronen möglich

Veröffentlichungen:

/37/ EYRICH, W.; KÜCHLE, M.; SHAFIEE, M.

A Neutron Well Counter for Plutonium Assay in 200 l Waste Barrels.
International Meeting on Monitoring of Pu-contaminated Waste.
JRC Ispra, September 25-28, 1979. Proceedings, EUR-6629,
S. 159-74.

Beteiligte Institutionen: INR, HDB

3. Entwicklung und Erprobung von Verfahren und Komponenten im Zusammenhang mit der Kernmaterialüberwachung

3.1 Direkte Meßmethoden

3.1.1 Emissionsspektrometrie mit Plasmaanregung

Zur Bestimmung von kleinen Brennstoffgehalten mit Hilfe der Emissionsspektrometrie mit Plasmaanregung wurden erste Untersuchungen an inaktiven Simulaten durchgeführt. Die Richtigkeit der ermittelten Urankonzentrationen ist mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzspektrometrie getestet worden. Im mg-Bereich liegt die relative Standardabweichung zwischen beiden Methoden bei $\approx \pm 2 \%$. Im μg -Bereich nimmt die Abweichung zu. Es sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig, um den Fehlerursachen nachzugehen.

Hauptergebnis: Erste Untersuchungen zur Einsatzfähigkeit der Emissionsspektrometrie mit Plasmaanregung an Uran für die Bestimmung kleiner Brennstoffgehalte sind erfolgversprechend

Veröffentlichungen:

/38/ COERDT, W.; FLACH, S.; KÖNIG, W.; MAINKA, E.; MATERN, K.;
NEUBER, J.; MÜLLER, H.G.

Destruktive Methoden, die zur Spaltstoffanalyse in einer Wiederaufarbeitungsanlage eingesetzt werden können, International Meeting on Monitoring of Pu-contaminated Waste, JRC Ispra, September 25-28, 1979, Proceedings, EUR 6629, S. 89-95.

Beteiligte Institutionen: IRCh, TU

3.1.2 Isotopenkorrelationsexperiment

Die Hauptziele des Isotopenkorrelationsexperimentes (ICE) waren, den Nachweis zu erbringen, daß 1) die Genauigkeit der Isotopenkorrelationstechnik (ICT) vergleichbar mit derjenigen der direkten Messung durch Isotopenverdünnungsanalysen ist und daß 2) ICT als Hilfsmittel bei der Spaltstoffflußkontrolle eingesetzt werden kann.

In Zusammenhang mit ICE wurden 10 Eingangsproben einer Kampagne der WAK von vier Labors analysiert. Bei der statistischen Auswertung der Meßdaten wurde die Zweiweg-Varianzanalyse, die Grubbs-Analyse für konstanten systematischen Fehler, welche die Methode der Paired Comparisons einschließt, und die Regressionsanalyse für ICT angewendet. Ausreißerdaten wurden nach dem Test von Grubbs bzw. bei der Regressionsanalyse mit der Student-t-Verteilung bestimmt. Die wesentlichen Ziele der statistischen Auswertung waren: 1) Bestimmung von Ausreißern, 2) Abschätzung der systematischen Unterschiede der Meßwerte der einzelnen Labors und 3) Abschätzung der zufälligen Fehler für jedes einzelne Labor als Maß für die Güte der Messung.

Hauptresultate des Experimentes:

- 1) Die Isotopenkorrelationstechnik erlaubt eine Abschätzung des zufälligen Fehlers einer Messung, der vergleichbar ist mit den durch die Grubbs-Analyse bestimmten Werten. In Tabelle 1 sind die Variationskoeffizienten V(%) des zufälligen Fehlers für die wichtigsten U- und Pu-Nuklide aufgeführt, wie sie nach beiden Methoden abgeschätzt wurden. Der Fehler nach ICT wurde unter der Annahme bestimmt, daß die Regressionsvariable X der Regression $Y = a + b \cdot X$ fehlerfrei ist. Die Übereinstimmung bei den Pu-Nukliden ist gut. Die Diskrepanz zwischen den U-235-Werten wurde sehr wahrscheinlich durch Cross-Contamination der Proben verursacht.
- 2) Mit Hilfe von Isotopenkorrelationen ist es möglich, den Abbrand mit einer Genauigkeit zu bestimmen, die für eine Uran-Massenbilanz ausreicht. Dies bedeutet, ICT kann eine direkte Analyse zur Bestimmung des Abbrands ersetzen.
- 3) Zweifelsfreie Ausreißer können durch ICT ebenso sicher bestimmt werden wie durch konventionelle statistische Methoden.

- 4) Zur Abschätzung eines systematischen Fehlers durch ICT müssen zuverlässige "historische" Daten von Proben des gleichen Reaktortyps und von etwa gleichem Abbrand vorliegen. Derartige Daten fehlten für ICE.
- 5) Wenn die Möglichkeiten, die die Isotopenkorrelationstechnik bietet, voll ausgeschöpft werden sollen, ist es nötig,
 - a) die head-end Verluste zu bestimmen,
 - b) für ein neues Experiment (ICE II) die Fehlerquellen zu beseitigen, die bei der Prozedur der Probennahme und bei der Verdünnung der Proben in der WAK aufgetreten sind.

Die Arbeiten werden unter Zugrundelegung der Ergebnisse eines weiteren, noch durchzuführenden Korrelationsexperimentes fortgesetzt.

Tabelle 1: Zufällige relative Fehler V(%) der Nuklidkonzentrationsbestimmung, abgeschätzt mit Grubbs-Analyse und mit ICT für Daten von TU, ohne Ausreißer.

Nuclide /IMA/	V (%) GRUBBS	V (%) ICT	Correlation variable
U-235	0.32	1.25	Pu-242/240
Pu-239	0.46	0.65	Pu-241/240
Pu-240	0.59	0.54	Pu-242/240
Pu-241	1.10	1.16	Pu-242/241
Pu-242	1.87	1.48	Pu-242/240

Hauptergebnisse:

- Der Bestimmungsfehler der Isotopenkorrelationstechnik ist vergleichbar der Meßungenauigkeit, die bei der direkten Bestimmung durch massenspektroskopische Isotopenverdünnungsanalyse erreicht wird.
- Head-end Verluste bei der Wiederaufarbeitung müssen berücksichtigt werden.

Veröffentlichungen:

KOCH, L.

The Isotopic Correlation Experiment, Safeguards and Nuclear Material Management ESARDA, 2. Symp., Edinburgh, Great Britain, March 26-28, 1980, Proceedings, ESARDA 11, S. 392-395.

ARENZ, H.J.; HOUGH, G.; KOCH, L.

Experience for Safeguards Gained in the Isotope Correlation Experiment, ibd., S. 339-341.

SCHOOOF, S.M.; ZIJP, W.L.

How Good are Isotope Correlations Compared to Conventional Statistical Techniques, ibd., S. 342-346.

BEETS, C.; BEMELMANS, P.; FRANSSEN, F.; SCHOOOF, S.

Head-End Fissile Material Balance of a Reprocessing Campaign: An On-Site Evaluation Procedure, ibd., S. 347-352.

Beteiligte Institutionen: IRCh, TU

3.1.3 Serviceanalysen

Zum geplanten Interlabortest IDA-80 wurden neben der Überprüfung und Verbesserung der dafür notwendigen Analysenverfahren realistische Kernbrennstofflösungen untersucht, ob in Dissolverlösungen mit eventuellen Inhomogenitäten der Spaltstoffverteilung, z.B. bedingt durch die Anwesenheit von Spaltstoff enthaltenden Mikropartikeln, gerechnet werden muß. Dazu wurde eine unterschiedliche Probenvorbehandlung (Filtration, Kochen mit HNO_3 -HF) vor der eigentlichen Analyse vorgenommen. Die erhaltenen Ergebnisse zeigen, daß innerhalb der Fehlergrenzen der angewandten Analysetechnik ($\leq 0,3\%$) kein signifikanter Effekt nachzuweisen ist.

Wie in den Vorjahren wurde für verschiedene Vorhaben des Projektes Spaltstoffflußkontrolle wertvolle Unterstützung durch die Ausführung unterschiedlicher Analysen geleistet.

Hauptergebnis:

- Ausschluß von Inhomogenitätseffekten bei Dissolverlösungen auf das Probenmaterial für IDA-80.

Veröffentlichung:

BERNHARDT, H.; BOLZ, E.; DEUTSCH, H.; HARTMANN, M.; GANTNER, E.;
MAINKA, E.; WERTENBACH, H.

Homogeneity Test Performed on Input Tank Solutions in a Reprocessing Plant, Safeguards and Nuclear Material Management, ESARDA, 2. Symp., Edinburgh, U.K., March 26-28, 1980, Proceedings, ESARDA, S. 106-108.

Beteiligte Institutionen: IRCh, TU

3.2 Zerstörungsfreie Meßmethoden

3.2.1 Analyse der Urankonzentration in Lösungen mit Hilfe der K-Kanten-Gammaabsorptiometrie

Zur schnellen und genauen Bestimmung der Konzentration von Uran und Plutonium in Lösungen wurde ein Meßgerät entwickelt. Das Meßprinzip beruht auf der Gammaabsorptiometrie an den K- bzw. L-Absorptionskanten mit einem kontinuierlichen Bremspektrum aus einem Röntgengenerator. Aufbauend auf Voruntersuchungen im Jahr 1978 ist ein entsprechendes Meßsystem mit einem 150 kV Gleichspannungs-Röntgengenerator fertiggestellt und in Betrieb genommen worden. Abb. 9 zeigt schematisch den relativ einfachen Aufbau der Meßanordnung.

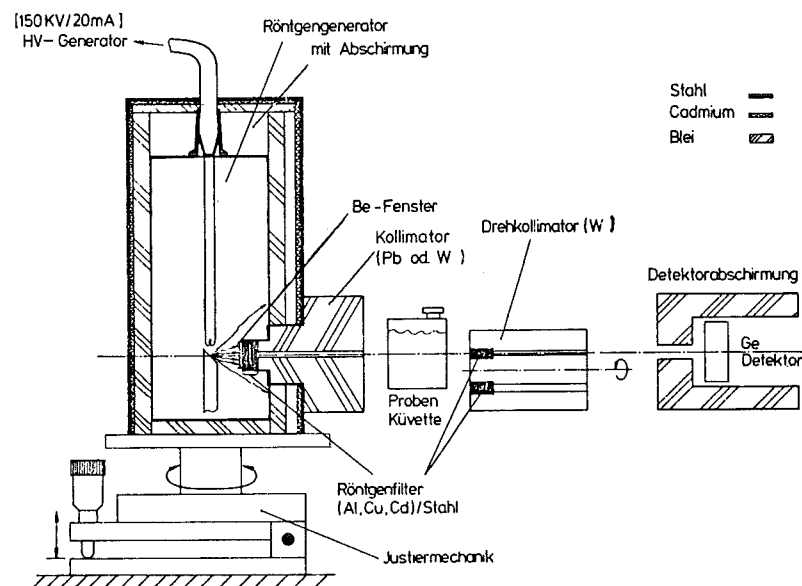


Abb. 9: Schematischer Aufbau der Meßanordnung zur Konzentrationsbestimmung von Uran bzw. Plutonium in Lösungen durch Gammaabsorptiometrie mit einem kontinuierlichen Röntgenspektrum

Die durchgeführten Testmessungen beschränkten sich zunächst auf K-Kanten-Absorptionsmessungen an Uranlösungen. Abb. 10 zeigt einen Vergleich der theoretisch berechneten und experimentell ermittelten Meßgenauigkeit. Die durchgezogene Kurve repräsentiert die berechnete Meßgenauigkeit für die Bestimmung von reinen Uranlösungen und die gestrichelte Linie die Meßgenauigkeit für die Uranbestimmung in Uran-Plutonium-Mischlösungen. Die Ergebnisse zeigen, daß eine Meßgenauigkeit $\leq 0,2 \%$ für einen weiten Konzentrationsbereich bei Meßzeiten von 20 min. erreichbar ist.

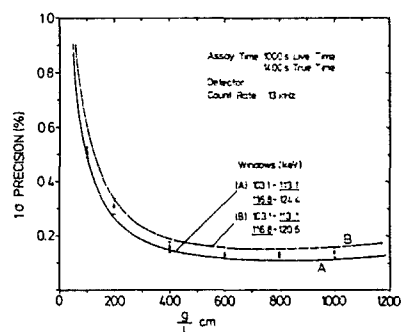


Abb. 10: Theoretisch berechnete (durchgezogene und gestrichelte Kurve) und experimentell bestimmte Meßgenauigkeit für die Messung von spaltbarem Kernmaterial mit Hilfe der K-Kanten-Absorptiometrie, aufgetragen als Funktion aus dem Produkt von Konzentration (in g/l) und Schichttiefe (in cm) der Meßlösung.

Die Integration einer Glove-Box in die Meßanordnung für die geplante Ausdehnung der Messungen auf plutoniumhaltige Lösungen wurde vorbereitet.

Hauptergebnis:

- Aufbau einer prototypischen Meßanordnung und erste Meßergebnisse für Uranlösungen.

Veröffentlichungen:

EBERLE, H.; MATUSSEK, P.; MICHEL-PIPER, I.; OTTMAR, H.

Assay of Uranium and Plutonium in Solution by K-Edge Photon Absorptiometry Using a Continuous X-Ray Beam, Safeguards and Nuclear Material Management, ESARDA, 2. Symp., Edinburgh, U.K., March 26-28, 1980, Proceedings, ESARDA, S. 372-78.

Beteiligte Institutionen: IAK

3.3 Interlaboratoriumstests

3.3.1 Interlaboratoriumstests für direkte Meßverfahren

Der Interlabtest AS-76 über die alphaspektrometrische Bestimmung des Isotops Pu-238 wurde abgeschlossen. Nach den Ergebnissen dieses Experimentes, innerhalb dessen in 26 Laboratorien ca. 1000 Alpha-Spektren von vier verschiedenen Probematerialien untersucht wurden, muß im Routinebetrieb bei der alphaspektrometrischen Bestimmung des Isotops Pu-238 eine Unsicherheit des Meßergebnisses von 2-3 % angenommen werden (untersuchter Bereich der Pu-238 Häufigkeit: 0,2 bis 1,6 %). Die Meßunsicherheit zeigt eine steigende Tendenz mit zunehmender Isotopenhäufigkeit (Abb. 11).

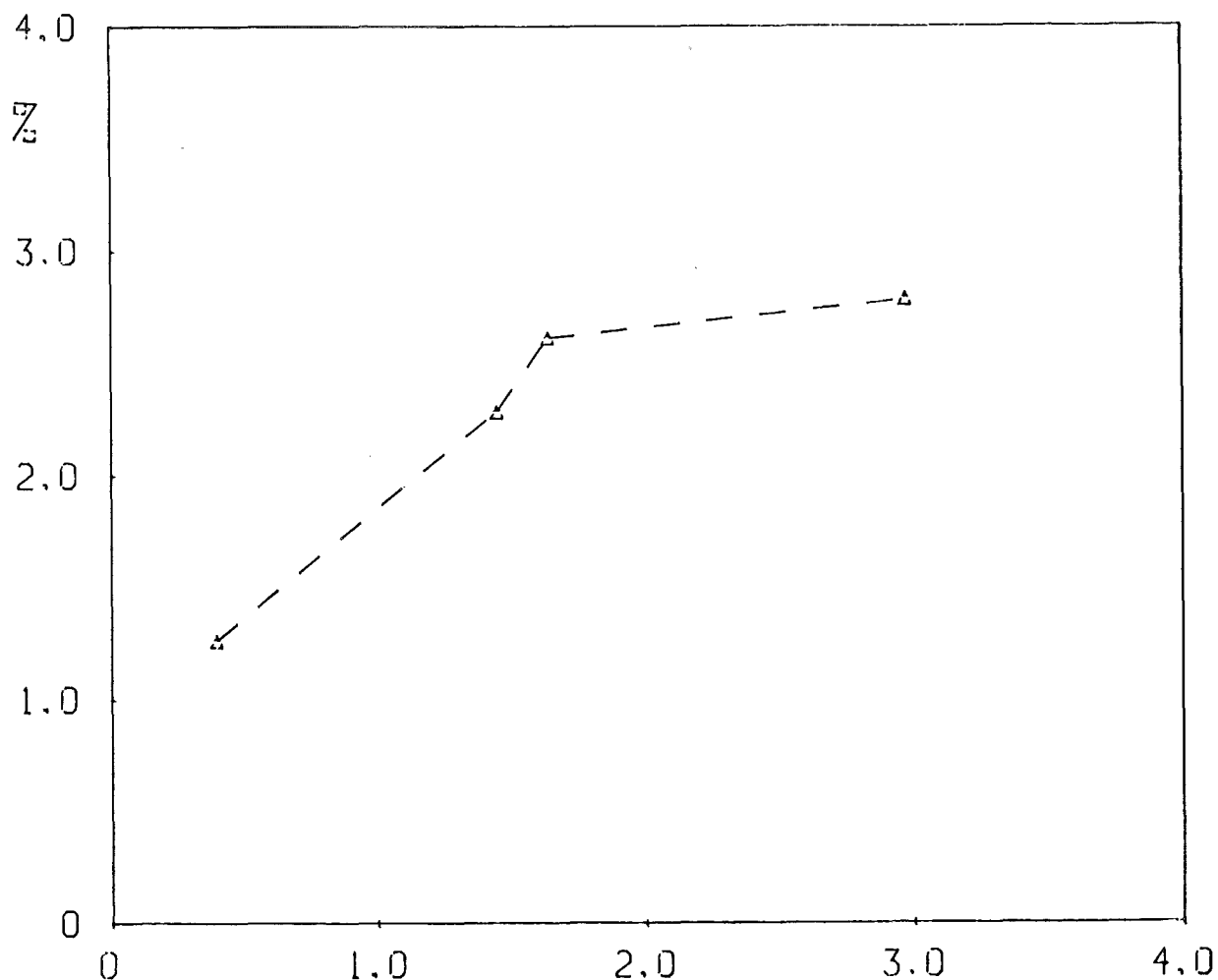


Abb. 11: Schätzwerte der Interlaboratoriumsabweichungen (relative Standardabweichungen) in Abhängigkeit vom α -Aktivitätsverhältnis Pu-238/(Pu-239 + Pu-240)

Eine der Hauptfehlerquellen liegt in der Korrektur von Peak-Überlagerungen bei der Spektrenauswertung. Eine Abhängigkeit des Meßfehlers vom Spaltproduktgehalt des Probenmaterials wurde nicht beobachtet.

Die Durchführung und Ergebnisse des Experimentes wurden in Übersichts- und Detailberichten veröffentlicht (/18,20,21,22,23,24/).

An den im Vorjahr vorbereiteten Proben für den Interlabtest zur massenspektrometrischen Isotopenverdünnungsanalyse von Eingangslösungen einer Wiederaufarbeitungsanlage wurden Voruntersuchungen hinsichtlich ihrer Homogenität durchgeführt. Die Messungen ergaben eine maximale Inhomogenität der Plutoniumkonzentration von 0,2 bis 0,3 %. Die Herstellung neuer Proben (Interlabtest IDA-80) unter Berücksichtigung der bei diesen Untersuchungen gewonnenen Erfahrungen wurde vorbereitet und ist für Anfang 1980 geplant. Für das Meßprogramm ist die Struktur der Datenerfassung und -auswertung erstellt worden; erste Bausteine für die Datenerhebung wurden bearbeitet.

Die Entwicklung eines empirischen Auswerteverfahrens zur Beurteilung analytischer Interlabordifferenzen wurde fortgesetzt. Seine Anwendung auf die Ergebnisse des Pafex-II-Experiments der IAEA machte deutlich, daß die quantitative Wiederauflösung in Glasampullen eingetrockneter Plutoniumproben, wie sie bei dem von der IAEA angewendeten Kontrollverfahren notwendig ist, weiterer Überprüfung bedarf.

Die seit 1977 laufende Erprobung des Verfahrens zur Beurteilung der Differenzen zwischen Deklarationswerten und Verifikationsanalysen bei der EURATOM-Kontrollbehörde in Luxemburg wurde mit befriedigenden Ergebnissen weitergeführt.

Hauptergebnisse:

- Abschlußbericht zu AS-76 erstellt.
- Planungsphase IDA-80 mit Festlegung des Probenmaterials abgeschlossen.

Veröffentlichungen:

- /17/ BEYRICH, W.; SPANNAGEL, G.
Practical Approach to a Procedure for Judging the Results of Analytical Verification Measurements, Nuclear Safeguards Technology 1978, Proc. of a Symp. on Nuclear Material Safeguards, Wien, 2.-6. Oktober 1978. Vienna: IAEA 1979, Vol. II, S. 347-59. IAEA-SM-231/8.
- /18/ BEYRICH, W.; SPANNAGEL, G.
Performance and Results of the AS-76 Interlaboratory Experiment on the Alpha Spectrometric Determination of the Pu-238 Isotope, Safeguards and Nuclear Material Management, ESARDA, 1. Symp. Brussels, Belgium, April 25-27, 1979, Proceedings, ESARDA 10, S. 374-79.
- /19/ BEYRICH, W.; SPANNAGEL, G.
The Mass Spectrometric Determination of Uranium-235 in Uranium Hexafluoride, Nuclear Technology, 42 (1979), S. 337-42.
- /20/ BEYRICH, W.; SPANNAGEL, G.
Analytical Data for Practical Safeguards; Performance and Evaluation of International Intercomparison Programs, Measurement Technology for Safeguards and Materials Control, Topical Meeting, Kiawah Island, SC, USA, November 26-29, 1979.
- /21/ BEYRICH, W.; GOLLY, W.
Internationale Ringversuche zur Kernmaterialanalyse ("Interlab Tests" des Projektes Spaltstoffflußkontrolle), KfK-Nachrichten, 11 (1979), No. 3, S. 81-84.
- /22/ BEYRICH, W.; SPANNAGEL, G.
The AS-76 Interlaboratory Experiment on the Alpha Spectrometric Determination of Pu-238, Part I: Performance and Results. KfK-2860 (Dezember 1979), EUR-6400e (Dezember 1979).
- /23/ SPANNAGEL, G.; BEYRICH, W.; BORTELS, G.
The AS-76 Interlaboratory Experiment on the Alpha Spectrometric Determination of Pu-238, Part II: Collection and Evaluation of Representative Spectra. KfK-2861 (Dezember 1979), EUR-6401e (Dezember 1979).

/24/ BORTELS, G.; BROOTHAERTS, J.; BIEVRE, P. de; GALLET, M.;
WOLTERS, W.; GLOVER, K.M.; KING, M.; WILTSHIRE, R.A.P.; GARNER, E.L.;
MACHLAN, L.E.; BARNES, I.L.

The AS-76 Interlaboratory Experiment on the Alpha Spectrometric
Determination of Pu-238, Part III: Preparation and Characterization
of Samples. KfK-2862 (Dezember 1979), EUR-6402e (Dezember 1979).

Beteiligte Institutionen: EKS, IDT, IRCh
CBNM (Geel, Belgien)

3.3.2 Interlaboratoriumstest für Plutoniumisotopen-Verhältnismessungen durch Gammaskpektrometrie

Der Interlaboratoriums-Vergleichstest zur gammaspektrometrischen Plutoniumisotopenanalyse, der in verantwortlicher Regie als ein ESARDA-Vorhaben durchgeführt wurde, konnte im Jahr 1979 weitgehend abgeschlossen werden /25/, /26/. Das Experiment wurde erweitert um die Analyse von Gammaskpektren, die im KfK mit 2 verschiedenen Spektrometern aufgenommen und an die beteiligten Labors zur Auswertung verschickt wurden. Abb. 12 zeigt tabellarisch die für die NBS-Standardprobe NBS-SRM 946 erhaltenen Ergebnisse.

Die derzeitig vorliegenden Vergleichsmessungen, die repräsentativ für die gammaspektrometrische Bestimmung von Plutoniumisotopenverhältnissen an Proben beliebiger Geometrie und chemischer Zusammensetzung sind, zeigten die folgenden Ergebnisse:

- Unterschiedliche Spektrenauswertemethoden führen zu Isotopenverhältnissen, die sich bis zu 5-10 % voneinander unterscheiden können. In kritischen Fällen, wie bei der $^{240}\text{Pu}/^{241}\text{Pu}$ -Verhältnisbestimmung, liegt die Variation der Meßergebnisse in der Größenordnung von 20 %.
- Die Hauptfehlerquelle rührt von der Peak-Flächenbestimmung her. Auch Peakflächen von isolierten und markanten Gammalinien differierten um bis zu 3 %.
- Der systematische Fehler aus einer spezifischen Peak-Flächenbestimmungsmethode zeigt keinen systematischen Trend. Dies weist auf die Empfindlichkeit der verschiedenen Spektren-Analysenmethoden bezüglich spezifischer Spektreneigenschaften hin, wie z.B. die Art des Untergrunds und die Komplexität der Peak-Strukturen.
- Die Fehler aufgrund der Korrektur der relativen Nachweisempfindlichkeit sind normalerweise klein ($\leq 1\%$) für nahe beieinander liegende Peak-Paare ($\Delta E < 5\text{ keV}$), können jedoch bis zu 10 % betragen für Gammalinien, die um mehr als 10 keV auseinander liegen.
- Der für die vorliegende Auswertung verwendete Satz von nuklearen Daten liefert eine ausreichend genaue Grundlage für die gammaspektrometrischen Isotopenverhältnismessungen. Die derzeitigen Ergebnisse legen nahe, daß kleine Korrekturen in der Größenordnung von 2 bis 3 % notwendig sind für

$\frac{^{238}\text{Pu}}{^{241}\text{Pu}}$ (152/148 keV)			$\frac{^{239}\text{Pu}}{^{241}\text{Pu}}$ (129/148 keV) (203/208 keV)				$\frac{^{240}\text{Pu}}{^{241}\text{Pu}}$ (160/148 keV) (160/164 keV)			
SPECTRA FROM NBS-SRM 946										
Lab.	LEPS	COAX	LEPS	COAX	LEPS	COAX	LEPS	COAX	LEPS	COAX
1/1	0.980	0.974	0.932	0.934	0.987	0.989	1.064 ⁺	1.005 ⁺	0.980	0.936
1/2	0.968	0.996	0.932	0.989	0.978	0.999	0.938 ⁺	0.873 ⁺	0.873	0.913
2	0.970	0.974	0.966	0.977	0.966	0.975	0.950	0.950	0.951	0.951
3/1	0.965	0.950	1.017	1.002	0.982	0.969	0.963	0.895	0.906	0.843
3/2	0.981	0.970	1.018	1.030	1.014	0.997	0.978	1.023	0.900	0.921
3/3	0.986	0.979	1.016	1.036	0.974	0.998	0.957	1.021	0.901	0.904
4	0.972	0.968	0.996	0.999	0.986	1.030	0.980	1.014	0.941	0.968
5/1	0.978	0.973	0.979	0.974	0.999	0.994	1.011	0.946	1.000	0.935
7/1	0.988	0.995	0.896	1.035	0.961	0.986 ⁺	0.997	0.903		
7/2	0.991	(1.036)	0.941	0.925	0.980	1.014	1.049	0.976	1.011	0.966
Mean	0.978	0.975	0.969	0.990	0.983	0.995	0.989	0.961	0.940	0.926
RSD(%)	0.87	1.43	4.43	3.95	1.57	1.78	4.24	5.83	5.20	4.14

Abb. 12: Analysenergebnisse von Plutonium-Spektren, die an die Laboratorien verteilt wurden (Spektren aufgenommen mit einem planaren Detektor ("LEPS") und einem biaxialen Detektor ("COAX")).
Die angegebenen Werte sind Isotopenverhältnisse der Gammaspektrometrie, dividiert durch die NBS-Referenzwerte.
(⁺ Werte wurden von IAK ausgewertet unter Verwendung von den Labors übermittelten Rohdaten)

die Absolutintensitäten von Gammalinien, die bei der Auswertung der Isotopenverhältnisse $^{238}\text{Pu}/^{241}\text{Pu}$ und $^{240}\text{Pu}/^{241}\text{Pu}$ aus Peakpaaren 152/148 keV bzw. 160,28/164 keV verwendet werden.

Hauptergebnisse:

- Ausdehnung des Experiments auf die Auswertung von Referenz-Gammaspektren.
- Erste Auswerteergebnisse der bis Ende 1979 von den Labors ermittelten Daten liegen vor.

Veröffentlichungen:

/25/ OTTMAR, H.; EBERLE, H.

Determination of Plutonium Isotopic Composition by Gamma-Spectrometry: Results from Interlaboratory Comparison Measurements
Organized by ESARDA. Safeguards and Nuclear Material Management,
ESARDA, 1. Symp., Brussels, Belgium, April 25-27, 1979. Proceedings,
ESARDA 10, S. 366-73.

/26/ OTTMAR, H.

Results from an Interlaboratory Exercise on the Determination of Plutonium Isotopic Composition by Gamma Spectrometry. Institute of Nuclear Materials Management, 20. Ann. Meeting, Albuquerque, USA, July 16-19, 1979.

Beteiligte Institutionen: IAK
ESARDA

A N H A N G

Verzeichnis der Veröffentlichungen des
Projektes SpFK für das Jahr 1979

- /1/ KTB; HS; EKS;
Brückner, Chr.; Jourdan, G.; Moennich, E.; Scheuerpflug, W.;
Sellinschegg, D.; Voss, F.
International safeguards in the large inventory fast critical assembly
SNEAK.
Safeguards and Nuclear Material Management. European Safeguards
Research and Development Association (ESARDA), 1. Symp., Brussels,
Belgium, April 25-27, 1979. Proceedings, ESARDA 10. S. 67-71
- /2/ KTB; EKS;
Jourdan, G.; Moennich, E.; Scheuerpflug, W.; Sellinschegg D.
Personnel portal monitors in development in use.
Safeguards and Nuclear Material Management. ESARDA, 1. Symp., Brussels,
Belgium, April 25-27, 1979. Proceedings, ESARDA 10. S. 115-17
- /3/ EKS;
Bahm, W.; Weppner, J.; Didier, H.J.
A uranium enrichment facility safeguards technology based on the
separation nozzle process.
Nuclear Safeguards Technology 1978. Proc. of a Symp. on Nuclear Material
Safeguards, Wien, 2.-6. Oktober 1978. Vienna: IAEA 1979. Vol. I, S. 191-203
IAEA-SM-231/14
- /4/ EKS;
Bahm, W.; Didier, H.J.; Gupta, D.; Schwegmann, P.
Entwicklung eines Überwachungskonzeptes für Trenndüsenanlagen.
Abschlußbericht der Projektdefinitionsphase 1976.
KfK-2894 (November 79)

/5/ EKS;

Bahm, W.; Didier, H.J.; Gupta, D.; Weppner, J.

Material management and international safeguards in a uranium enrichment facility based on separation nozzle process.

Safeguards and Nuclear Material Management. ESARDA, 1. Symp., Brussels, Belgium, April 25-27, 1979. Proceedings, ESARDA 10. S. 62-66

/6/ INR;

Wiese, H.W.

Stand der im KfK verfügbaren Methoden und Daten zur Vorhersage des Verhaltens von Leichtwasserreaktor-Brennstoff im nuklearen Brennstoffkreislauf.

KfK-Nachrichten, 11 (1979) No. 3, S. 76-81

/7/ IDT;

Avenhaus, R.; Frick, H.

Statistical analysis of alternative data evaluation schemes (the MUF-D-evaluation problem).

Safeguards and Nuclear Material Management. ESARDA, 1. Symp., Brussels, Belgium, April 25-27, 1979. Proceedings, ESARDA 10. S. 442-46

/8/ IDT;

Höpfinger, E.; Avenhaus, R.

A game theoretic framework for dynamic standard setting procedures.

Internat. Institute for Applied Systems Analysis, IIASA, Laxenburg, Austria. Research Memorandum. RM-78-64

/9/ IDT;

Avenhaus, R.; Frick, H.

Vergleich zweier Verfahren der Materialbilanzierung.

Operations Research, Tagung, Aachen, 31.8.-2.09.1977. Henn, R.; Kall, P.

(u.a. Hrsg.): Operations Research Verfahren, Methods of Operations Research. Bd. 30. Meisenheim a.Glan: Hain 1979, S. 187-191

/10/ IDT;

Avenhaus, R.

Significance thresholds of onesided tests for means of bivariate normally distributed variables. With annex by N. Nakicenovic. Communications in Statistics, P.A.: Theory and Methods, Vol. A 8(1979) S. 223-35

- /11/ IDT;
 Jarsch, V.; Onnen, S.; Polster, F.J.; Voit, J.
 Uniform data description for a generalized real-time nuclear materials control system.
 Nuclear Safeguards Technology 1978. Proc. of a Symp. on Nuclear Material Safeguards, Wien, 2.-6. Oktober 1978. Vienna: IAEA 1979. Vol. I, S. 167-70
 IAEA-SM-231/11
- /12/ IDT;
 Jarsch, V.; Onnen, S.
 MACSY - a minicomputer accounting and control system
 Nuclear Materials Management, 8 (1979) No 2, S.93-97
- /13/ HS; EKS;
 Brückner, Chr.; Büker, H.; Buttler, R.; Gupta, D.
 Sicherheitsüberwachung in Großforschungszentren der Bundesrepublik Deutschland.
 Sicherheitsüberwachung und Nichtverbreitung. Internationale Informations-
 tagung, Mainz, 22.-23. Januar 1979. Bonn: Dt. Atomforum 1979. S. 121-33
- /14/ HS;
 Brückner, Chr.
 Zur Verifikation des Kernmaterialbestandes an Siemens-Unterrichts-
 Reaktoren mit Hilfe des Nachweises der Kritikalität.
 Safeguards and Nuclear Material Management. ESARDA, 1. Symp., Brussels,
 Belgium, April 25-27, 1979. Proceedings, ESARDA 10. S. 281-83
- /15/ HS;
 Brückner, Chr.; Stein, G.
 Die Anwendung von Einschließungs- und Beobachtungsmaßnahmen.
 Sicherheitsüberwachung und Nichtverbreitung. Internationale Informations-
 tagung, Mainz, 22.-23. Januar 1979. Bonn: Dt. Atomforum 1979. S. 273-83
- /16/ HS;
 Brückner, Chr.; Pfeffer, K.H.
 Ein Kamerasystem zum Einsatz bei der Kernmaterialüberwachung in kern-
 technischen Anlagen.
 Safeguards and Nuclear Material Management. ESARDA, 1. Symp., Brussels,
 Belgium, April 25-27, 1979. Proceedings, ESARDA 10. S. 109-14

- /17/ IDT; EKS;
 Beyrich, W.; Spannagel, G.
 Practical approach to a procedure for judging the results of analytical verification measurements.
 Nuclear Safeguards Technology 1978. Proc.of a Symp.on Nuclear Material Safeguards, Wien, 2.-6. Oktober 1978. Vienna: IAEA 1979. Vol. II, S.347-59
 IAEA-SM-231/8

- /18/ IDT; EKS;
 Beyrich, W.; Spannagel, G.
 Performance and results of the AS-76 interlaboratory experiment on the alpha spectrometric determination of the Pu-238 isotope.
 Safeguards and Nuclear Material Management. ESARDA, 1. Symp. Brussels, Belgium, April 25-27, 1979. Proceedings, ESARDA 10. S.374-79

- /19/ IDT; EKS;
 Beyrich, W.; Spannagel, G.
 The mass spectrometric determination of uranium-235 in uranium hexafluoride.
 Nuclear Technology, 42(1979) S.337-42

- /20/ IDT; EKS;
 Beyrich, W.; Spannagel, G.
 Analytical data for practical safeguards; performance and evaluation of international intercomparison programs.
 Measurement Technology for Safeguards and Materials Control, Topical Meeting, Kiawah, Island, SC, USA, November 26-29, 1979

- /21/ EKS;
 Beyrich, W.; Golly, W.
 Internationale Ringversuche zur Kernmaterialanalyse ("Interlab Tests" des Projektes Spaltstoffflußkontrolle).
 KfK-Nachrichten, 11(1979) No. 3, S. 81-84

/22/ IDT; EKS;

Beyrich, W.; Spannagel, G.

The AS-76 interlaboratory experiment on the alpha spectrometric determination of Pu-238. Part I: Performance and results.

KfK-2860 (Dezember 79)

EUR-6400 e (Dezember 79)

/23/ IDT; EKS;

Spannagel, G.; Beyrich, W.; Bortels, G.

The AS-76 interlaboratory experiment on the alpha spectrometric determination of Pu-238. Part II: Collection and evaluation of representative spectra.

KfK-2861 (Dezember 79)

EUR-6401e (Dezember 79)

/24/ SpFK;

Bortels, G.; Broothaerts, J.; Bièvre, P.de; Gallet, M.; Wolters, W.; Glover, K.M.; King, M.; Wiltshire, R.A.P.; Garner, E.L.; Machlan, L.E.; Barnes, I.L.

The AS-76 interlaboratory experiment on the alpha spectrometric determination of Pu-238. Part III: Preparation and characterization of samples.

KfK-2862 (Dezember 79)

EUR-6402e (Dezember 79)

/25/ IAK;

Ottmar, H.; Eberle, H.

Determination of plutonium isotopic composition by gamma-spectrometry: results from interlaboratory comparison measurements organized by ESARDA. Safeguards and Nuclear Material Management. ESARDA, 1. Symp., Brussels, Belgium, April 25-27, 1979. Proceedings, ESARDA 10. S.366-73

/26/ IAK;

Ottmar, H.;

Results from an interlaboratory exercise on the determination of plutonium isotopic composition by gamma spectrometry.

Institute of Nuclear Materials Management,

20. Ann. Meeting, Albuquerque, USA, July 16-19, 1979

- /27/ EKS;
 Gupta, D.
 Ten years of ESARDA.
 Safeguards and Nuclear Material Management ESARDA, 1. Symp., Brussels,
 Belgium, 25-27 April 1979. Proceedings, ESARDA 10. S.1-12
- /28/ EKS;
 Gupta, D.
 Impact of international safeguards on peaceful nuclear activities in the
 European community.
 Nuclear Power Option for the World. European Nuclear Conf.;
 Hamburg, May 6-11, 1979. Invited Paper
- /29/ EKS;
 Ehrfeld, U.
 Konzepte und Methoden internationaler Kernmaterialüberwachung.
 Bericht über das 1st Annual Symposium on Safeguards and Nuclear Material
 Management der ESARDA in Brüssel.
 Atomwirtschaft-Atomtechnik, 24(1979)S.487-88
- /30/ EKS;
 Bahm, W., Berg, R.; Bicking, U.; Golly, W.; Rust, W.; Schinzer, F.;
 Strauss, R.; Schmidt, W.; Tretter, G.; Voss, F.; Gupta, D.
 The capabilities of present day safeguards techniques in existing
 nuclear facilities like fabrication, reprocessing, and uranium enrichment.
 Nuclear Safeguards Technology 1978. Proc. of a Symp. on Nuclear Material
 Safeguards, Wien, 2.-6. Oktober 1978. Vienna: IAEA 1979. Vol. I, S.133-47
 IAEA-SM-231/13
- /31/ IDT;
 Avenhaus, R.; Heil, J.
 Safeguards systems parameters.
 Nuclear Safeguards Technology 1978. Proc. of a Symp. on Nuclear Material
 Safeguards, Wien, 2.-6. Oktober 1978. Vienna: IAEA 1979. Vol. I, S.85-102
 IAEA-SM-231/7

- /32/ AFAS; IDT;
 Paschen, H.; (Studienleiter); Coenen, R.; Avenhaus, R.; Conrad, F.;
 Fischer, P.M.; Frederichs, G.; Halbritter, G.; Wintzer, D.; (Mitarb.)
 Konsequenzen des großtechnischen Einsatzes der Kernenergie in der
 Bundesrepublik Deutschland. Kurzfassung.
 KfK-2707 (Juni 79)
 ASA-ZE/16/78
- /33/ HS;
 Bork, G.; Brückner, Chr.; Hagenberg, W.
 Abschätzung der Ungenauigkeit einer Kernmaterialbilanz in einer
 Mischoxid-Fabrikationsanlage.
 Safeguards and Nuclear Material Management. ESARDA, 1.Symp., Brussels
 Belgium, April 25-27, 1979. Proceedings, ESARDA 10. S.456-61
- /34/ HS;
 Brückner, Chr.
 Die Kernmaterialüberwachung in der Bundesrepublik Deutschland durch
 die Kommission der Europäischen Gemeinschaften (Euratom) und die
 Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO).
 Atom und Strom, 25(1979) S.106-14
- /35/ HS;
 Brückner, Chr.
 Die Kernmaterialüberwachung in der Bundesrepublik Deutschland durch
 die Kommission der Europäischen Gemeinschaften (Euratom) und die
 Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO).
 Kernthemen. Bonn: Deutsches Atomforum 1979. 7 S.
- /36/ IAK;
 Matussek, P.; Allex, H.;
 A computerized ²³⁵U enrichment monitor for continuous process control
 measurements in a LWR fuel fabrication plant.
 Safeguards and Nuclear Material Management. ESARDA, 1. Symp., Brussels,
 Belgium, April 25-27, 1979. Proceedings, ESARDA 10. S.303-305

/37/ INR;

Eyrich, W.; Kühle, M.; Shafiee, M.

A neutron well counter for plutonium assay in 200 l waste barrels.

International meeting on monitoring of Pu-contaminated waste.

JRC Ispra, September 25-28, 1979. Proceedings, EUR-6629, S. 159-74.

/38/ IRCh;

Coerdt, W.; Flach, S.; König, W.; Mainka, E.; Matern, K.; Neuber, J.;
Müller, H.G.

Destruktive Methoden, die zur Spaltstoffanalyse in einer Wiederauf-
arbeitungsanlage eingesetzt werden können. International meeting on
monitoring of Pu-contaminated waste. JRC Ispra, September 25-28, 1979.
Proceedings, EUR-6629, S. 89-95.